PUBLICACIONES RECIENTES PIEB

El costo ecológico de la política minera en Huanuni y Bolívar
Elizabeth López (coord.), Ángela Cuenca, Silvana Lafuente, Emilio Madrid y Patricia Molina

Remediación ambiental como alternativa de desarrollo local para la subcuenca de Japo-Pairumani
Gerardo Zamora (coord.), Antonio Salas, Octavio Hinojosa, Genny Isabel Claure, Pedro R. Vallejos, Milton Pérez y Cinda Beltrán

Thuska uma. Tratamiento de aguas ácidas con fines de riego
Juan Carlos Montoya (coord.), Jorge Amusquívar, Gunnar Guzmán, David Quispe, Rosmery Blanco y Norma Mollo

Daño genotóxico causado por la contaminación minera en Oruro
María E. Ascarrumz (coord.), Jacques Gardón, Flavia Barbieri, Ma. Eugenia García, Noemí Tirado, Marina Cuti, Pamela Paco, Cristina Mejía, María Ruiz, Maritza Mercado y Mauricio Ormachea

Minería y conflictos socioambientales en Cantumarca
Rosario Tapia (coord.), Lourdes Tapia y Ernesto Quintana

La herencia de la mina. Representaciones acerca de la contaminación minera en Potosí
Ingrid Tapia (coord.), Olivier Barras y Juan Carlos Oporto

Generación, distribución y uso del excedente de hidrocarburos en Bolivia (Incluye un CD con matrices)
Hugo del Granado (coord.), Leila Mokrani, Mauricio Medinaceli y Jorge Gumucio

Uso productivo del excedente hidrocarburífero Propuesta de creación del Fondo Soberano de las Regiones
Juan Carlos Guzmán (coord.), María del Carmen Crespo, Tatiana Genuzio y César Santa Gadea

Excedente y renta en la minería mediana. Determinantes del crecimiento minero 2000-2009
Rolando Jordán (coord.), Julio Humérez, Eliodoro Sandi y Paola Arano

Arquitecturas emergentes en El Alto: el fenómeno estético como integración cultural
Randolph Cárdenas (coord.), Edwin Mamani y Sandra Beatriz Sejas

La reconstitución del Jach'a Suyu y la Nación Pakajaqi. Entre el poder local y la colonialidad del derecho indígena
Guery Chuquimia (coord.), Rubén Chambi y Fernando Claros

En busca de la tierra sin mal. Los derechos indígenas en territorios guaraní
Karina Fernández (coord.) y Dante Vladimir Illanes

Los derechos indígenas y su cumplimiento en el territorio indígena de Guarayos
José A. Martínez (coord.) y R. Alicia Tejada

En este libro encontraremos una constatación muy importante: existen otros métodos de recuperación del oro menos contaminantes. Ante este panorama, los investigadores proponen como alternativa la introducción de un conjunto de tecnologías limpias, las mismas que se definen como "herramientas, métodos y prácticas necesarias para producir bienes y entregar servicios con menos impactos sobre el medio ambiente". Desde esa perspectiva, la propuesta resulta ser una importante contribución a la solución de los problemas ambientales de la minería en el departamento de Oruro.

ISBN: 978-99954-32-86-7
9 789995 432867

2010

TECNOLOGÍAS LIMPIAS APLICABLES A LA EXPLOTACIÓN DE ORO

INVESTIGACIÓN AMBIENTAL







Embajada Real de Dinamarca



PIEB



TECNOLOGÍAS LIMPIAS APLICABLES A LA EXPLOTACIÓN DE ORO

Félix Carrillo

Ruth Zenteno
Laura Rubín de Celis

El Programa de Investigación Estratégica en Bolivia (PIEB) inició sus actividades el año 1994, en el marco institucional de la Fundación PIEB. Es un programa de carácter científico, cultural y social, creado con el propósito de contribuir al desarrollo de Bolivia a través de la promoción de la investigación científica sobre temas relevantes y estratégicos.

Los objetivos del PIEB son:

1. Apoyar la investigación orientada a la reflexión y comprensión de la realidad boliviana con la finalidad de contribuir a la generación de propuestas de políticas públicas frente a problemáticas nacionales, promover la disminución de asimetrías sociales y la inequidad existentes, lograr una mayor integración social y fortalecer la democracia en Bolivia.
2. Incentivar la producción de conocimientos socialmente relevantes y las aproximaciones multidisciplinaras que permitan visiones integrales de la sociedad, promoviendo simultáneamente la excelencia académica. Para el PIEB, desarrollar el conocimiento, investigación y acceso a la información son pilares para que una sociedad pueda afrontar su futuro.
3. Promover la formación de nuevas generaciones de investigadores dando énfasis en la formación de jóvenes. "Investigar formando y formar investigando" es uno de los principales propósitos del PIEB.
4. Desarrollar la capacidad local, regional y nacional de investigación a través de iniciativas de fortalecimiento a recursos humanos e institucionales.
5. Democratizar el acceso al conocimiento, a través de medios de comunicación especializados en investigación, ciencia y tecnología, y la creación de espacios de encuentro entre el Estado, la sociedad civil y la academia.

El año 2008, el PIEB puso en marcha el Programa de Investigación Ambiental (PIEB-PIA) con el objetivo de contribuir a propiciar acciones de cambio a favor del desarrollo sostenible en el país, mediante la formulación de propuestas de investigación que orienten a la toma de decisión y las políticas públicas a nivel local y nacional. En ese marco el Programa desarrolla sus actividades en distintas temáticas ambientales bajo una perspectiva integral, con la consideración de las dimensiones: social, económica, política y territorial.

Tecnologías limpias aplicables a la explotación de oro

Tecnologías limpias aplicables a la explotación de oro

Coordinador de la investigación
Félix Carrillo Claros

Investigadores:
Ruth Zenteno Pocoata
Laura Rubín de Celis Cuba



Embajada Real
de Dinamarca



Programa de Investigación
Estratégica en Bolivia

Oruro, 2010

Esta publicación cuenta con el auspicio de la Embajada Real de Dinamarca.

Carrillo Claros, Félix
Tecnologías limpias aplicables a la explotación de oro / Félix Carrillo Claros; Ruth Zenteno Pocoata; Laura Rubín de Celis Cuba. -- La Paz : Embajada Real de Dinamarca; Fundación PIEB, 2010.
XIV; 100 p. ; maps.; tabls.; grafs.; fots.: 23 cm. -- (Serie Investigación Ambiental no.1)

D.L. : 4-1-1723-10
ISBN: 978-99954-32-86-7 : Encuadernado

CONTAMINACIÓN MINERA / ORO / CONTAMINACIÓN POR METALES / CONTAMINACIÓN – MERCURIO / OPERACIONES MINERAS / TENOLOGÍAS LIMPIAS / CAMBIO TECNOLÓGICO / AMALGAMACIÓN / COLAS DE AMALGAMACIÓN / LIMPIEZA DE COLAS / GRAVIMETRÍA / MINERÍA AURÍFERA / GESTIÓN AMBIENTAL / COSTO AMBIENTAL / CONTAMINACIÓN DE RÍOS / CONTAMINACIÓN DEL AGUA / CALIDAD DEL AGUA / CONTAMINACIÓN DEL SUELO / ORURO / CERCADO / PANTALEÓN DALANCE / SAUCARÍ / POOPÓ / EDUARDO AVAROA

1. título **2**. serie

Edificio Fortaleza. Piso 6. Oficina 601
Avenida Arce 2799, esquina calle Cordero
Teléfonos: 2432583 - 2431866
Fax: 2435235
Correo electrónico: fundacion@pieb.org
Servicio Informativo: www.pieb.com.bo
Casilla 12668
La Paz-Bolivia

Edición: Mauricio Murillo
Diseño gráfico de cubierta: PIEB
Diagramación: Marco Alberto Guerra M.
Impresión: Plural editores
Av. Ecuador 2337 esq. Calle Rosendo Gutiérrez
Teléfono 2411018 / Casilla 5097 / La Paz-Bolivia
e-mail: plural@plural.bo / www.plural.bo

Impreso en Bolivia
Printed in Bolivia

Índice

Índice de flujogramas

Índice de mapas

Índice de tablas

Presentación

En el marco del Programa de Apoyo al Desarrollo Sostenible, Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Embajada Real de Dinamarca, el Programa de Investigación Estratégica en Bolivia (PIEB) implementa el componente de investigación ambiental, que tiene como uno de sus principales objetivos contribuir a promover, actualizar e incidir en políticas públicas con conocimiento, debate y propuestas sobre la temática ambiental y el desarrollo sostenible en Bolivia y fortalecer las capacidades en investigación ambiental.

El PIEB, a través de su Programa de Investigación Ambiental (PIA), impulsa el desarrollo de la investigación en las temáticas de gestión ambiental y de riesgos, gestión comunitaria de la biodiversidad y los recursos naturales.

En ese marco se inscribe la realización de las convocatorias para proyectos de investigación sobre Contaminación Minera en los departamentos de Oruro y Potosí, lanzadas en la gestión 2008 con el apoyo de una importante Plataforma Institucional integrada por las Prefecturas de los departamentos de Oruro y Potosí, la Universidad Técnica de Oruro (UTO), la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), la Asociación de Municipios del Departamento de Oruro (AMDEOR), la Asociación de Municipios del Departamento de Potosí (AMDEPO), el Centro de Ecología y Pueblos Andinos (CEPA), el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) y la Sociedad Potosina de Ecología (SOPE). Las convocatorias buscaron incidir en políticas públicas para la gestión ambiental minera, a través de la producción de conocimiento que desemboque en alternativas para la prevención y mitigación de los efectos ocasionados por la contaminación minera.

Las investigaciones promovidas al interior de estas convocatorias se desarrollaron en dos fases de trabajo, entre los años 2008 y 2009: la primera, encaminada a la investigación misma; y la segunda, relacionada a la formulación de propuestas expresadas en planes, programas, proyectos, estrategias metodológicas, entre otros, con el fin de brindar respuestas concretas a las problemáticas estudiadas.

En este tiempo, se dio una interesante interacción entre investigadores, operadores de políticas públicas, actores de la sociedad civil, periodistas, en torno a los temas estudiados. Las investigaciones, sus resultados y propuestas fueron ampliamente difundidos y es grato mencionar que muchas de ellas han alimentado el diseño de políticas públicas relacionadas a la gestión ambiental minera y la salud. En esa óptica, los resultados de las investigaciones sobre contaminación minera han sido incorporados en planes de remediación ambiental y de desarrollo social; por otra parte, orientan programas de salud locales en Oruro y Potosí, y también han despertado interés en cooperativas mineras y comunidades locales, para la implementación de tecnologías de producción más limpia.

La participación social ha sido uno de los factores de mayor importancia en la realización de las investigaciones, tomando en cuenta que en la actualidad la incidencia más efectiva en políticas públicas se da mediante la movilización de los actores involucrados en una problemática. Es así que los beneficiarios de las investigaciones: comunidades locales, cooperativas mineras, población civil expuesta a los riesgos de la contaminación, operadores de políticas públicas, entre otros, cuentan con información, resultado de procesos de investigación, y con propuestas de remediación ambiental y desarrollo local, para la generación de demandas que mejoren la calidad ambiental y la calidad de vida. Este proceso de posicionamiento y reconocimiento público de los problemas ocasionados por la contaminación, es un antecedente importante para futuras iniciativas.

Destacamos, en ese sentido, la publicación de la primera serie de investigaciones ambientales y propuestas de intervención, integrada por siete títulos relacionados a cuatro ejes temáticos: Políticas públicas para la gestión ambiental; Conflictos socio-ambientales en la gestión de los recursos hídricos y suelos; Políticas en salud y

exposición a los riesgos de contaminación; y Tecnologías limpias aplicables a la pequeña minería.

Estos trabajos han sido desarrollados por un conjunto de destacados investigadores de diferentes disciplinas, comprometidos con el desarrollo del país a través de la generación de conocimiento relevante. Estamos seguros que las investigaciones y propuestas que presentamos en esta serie, ampliarán el impacto de los estudios, llegando a más públicos interesados, para contribuir al debate, a la reflexión y a la implementación de soluciones en torno a una problemática compleja y al mismo tiempo urgente para los departamentos mineros de Oruro y Potosí.

Godofredo Sandoval
Director del PIEB

Prólogo

Es necesario reflexionar sobre el aporte de esta investigación que, junto a otras investigaciones sobre el sector, permiten vislumbrar soluciones factibles a un problema que se arrastra por muchos años. Las soluciones ambientales a los problemas de la contaminación minera, como señalan los investigadores, son, por lo general, técnicas. Sin embargo, dada la complejidad del problema, la implementación de cualquier solución técnica requiere de procesos integrales, que incluyan a otras disciplinas y que tengan carácter participativo.

La complejidad del problema radica justamente en las características estructurales que presenta el sector de la pequeña minería, no sólo aurífera, sino también de otro tipo. Se trata, por lo general, de pequeños emprendimientos, con pocos recursos económicos, sin personal técnico especializado, con poca o ninguna asistencia técnica y, lo más importante, con yacimientos cuyas particularidades son impropias para la minería a gran escala: vetas angostas y cortas.

Estas características del sector de la pequeña minería aurífera, como es previsible, han llevado al uso de tecnología más accesible y conocida por parte de los pequeños emprendedores mineros. En otras palabras, lo que se conoce por siglos y está a su alcance: la amalgamación de los minerales auríferos. La aplicación de esta tecnología puede variar significativamente dependiendo del tamaño relativo de la empresa. Desde el amalgamado de toda la carga, lo cual implica el uso de grandes cantidades de mercurio y bajos rendimientos, hasta el uso de sistemas algo más sofisticados como la amalgamación de concentrados, con menores consumos de mercurio y mayores rendimientos. Sin embargo, los efectos contaminantes, en

cualquiera de los casos, siguen siendo prácticamente los mismos, pues, una vez producida la amalgamación, se procede, en el peor de los casos, a la quema de la amalgama al aire libre para evaporar el mercurio o, en el mejor de los casos, a la recuperación del mercurio a través de sistemas de circuito cerrado cuya eficiencia no siempre es la mejor. Existiendo el agravante de que las colas con contenidos importantes de mercurio son abandonados al aire libre sin que se realice una disposición adecuada.

Según se desprende de la presente investigación, y que resulta una de las constataciones más importantes, existen otros métodos de recuperación del oro menos contaminantes, pero que resultan inviables técnica y económicamente a la escala que se trabaja en la pequeña minería aurífera de nuestro país. El lento "renacimiento" que se afirma en la investigación obedece básicamente a las cotizaciones favorables que alcanzó el oro en los últimos años y que se mantienen actualmente. Sin embargo, como ocurre en todo el sector minero, estas condiciones pueden variar drásticamente, por tanto, se trata de una situación de incertidumbre permanente que hace poco probable la consolidación de los pequeños emprendimientos mineros y la aplicación de programas de asistencia técnica, así como la introducción de técnicas destinadas a reducir el impacto ambiental de dichos emprendimientos.

Ante este panorama, los investigadores proponen como alternativa la introducción de un conjunto de tecnologías limpias, las mismas que se definen como "herramientas, métodos y prácticas necesarias para producir bienes y entregar servicios con menos impactos sobre el medio ambiente". Cabe mencionar que la introducción de prácticas denominadas de Producción Más Limpia[1] (PML), dentro de las cuales se insertan las tecnologías limpias, tiene carácter substancialmente preventivo; se trata de medidas que deben ser

1 La Producción Más Limpia se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada, a los procesos productivos, a los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia global y reducir riesgos para los seres humanos y el ambiente. La PML puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos y a los diferentes servicios prestados a la sociedad (PNUMA).

aplicadas durante el proceso productivo, no así al final del proceso. La ventaja mayor de la introducción de tecnologías limpias o de Producción Más Limpia radica en que requieren, en la mayoría de los casos, pequeñas inversiones y reportan beneficios económicos, ambientales y sociales a quienes las aplican. Desde esa perspectiva, la propuesta resulta ser una importante contribución a la solución de los problemas ambientales de la minería.

Sin embargo, la introducción de este tipo de tecnologías, como bien recalcan los investigadores, contempla un conjunto de medidas técnicas que necesariamente deben ser complementadas con acciones de capacitación y concientización de los operadores y gerentes, que deben incluirse en la asistencia técnica. Esa la razón por la cual la introducción de tecnologías limpias debe tener carácter integral y contar con la participación de las personas directamente involucradas en la gestión de la empresa, es decir, la administración, la gerencia y los propios operadores. El éxito de la introducción de este tipo de medidas depende del grado de compromiso del máximo representante de la empresa.

Acciones tan simples como el control de los procesos, el cambio de hábitos del personal, la segregación de los efluentes (especialmente piritas) y el control de las materias primas y otros insumos resultan fundamentales para reducir los niveles de contaminación e incrementar los ingresos de las empresas. Así pues, este esfuerzo de parte del PIEB y de los investigadores puede representar una alternativa conveniente tanto para el cuidado del medio ambiente, como para el incremento de los beneficios de los pequeños emprendimientos mineros. Sin embargo, cabe advertir que la introducción de este tipo de tecnologías, en muchos casos, no es suficiente, por lo tanto, se requiere aplicar medidas de remediación. No obstante, es recomendable agotar todas las medidas de Producción Más Limpia antes de pasar a la introducción de plantas de tratamiento.

Finalmente, será necesario complementar este tipo de investigaciones con otras acciones de tipo experimental que permitan demostrar de manera concluyente los beneficios que se pueden obtener. En tal sentido, los empresarios mineros, los profesionales

del ramo y las autoridades ambientales podrán contar, a partir de esta y otras investigaciones sobre el sector, con aportes que merecen ser aprovechados.

Antonio Ruiz Michel
Director ejecutivo del Centro de Promoción
de Tecnologías Sostenibles (CPTS)

Primera parte

Investigación

Introducción

El trabajo productivo es la piedra angular del desarrollo del ser humano; realizado en condiciones de seguridad y sin provocar perjuicios al medio ambiente, es la clave del progreso económico y social, el fundamento sobre el cual se forja un futuro próspero y duradero. En el pasado, las operaciones mineras, pequeñas o grandes, no necesitaban remediar los impactos ambientales ocasionados en los recursos naturales. De esta manera, los costos ambientales no eran económicamente contabilizados o, incluso, muchas veces se asumían como costo cero. Como resultado, los costos efectivos han sido con frecuencia subsidiados por toda la población afectada. Actualmente, los operadores mineros a toda escala están cada vez más conscientes tanto de los impactos ambientales como de sus costos económicos. En este contexto, es interesante conectar ambas variables de manera sistemática, tanto en la investigación como en las estrategias de manejo.

Después de más de 400 años, la base económica del departamento de Oruro sigue siendo la extracción minera, que acompaña a las alzas y caídas de los precios internacionales de los minerales. Desde épocas pasadas, todas las operaciones mineras grandes y pequeñas han ocasionado serios impactos en el medio ambiente, con efectos adversos y diversos, tales como la erosión de suelos y la contaminación de aire y aguas. Los terrenos y cuerpos de agua ubicados en las cercanías de minas, ingenios, sus desmontes, colas y pilas están contaminados por aguas ácidas y residuos mineros con elevados contenidos de metales pesados, los mismos que son transportados por el agua y el viento hasta otras zonas. Actualmente, las actividades de la pequeña minería juegan un rol importante a través

de las cooperativas[1]. Estas operaciones mineras se incrementan de una manera permanente, especialmente en los últimos años, con el consecuente incremento del deterioro ambiental, lo cual incide directamente en la disminución de la calidad de vida de los miembros y de las poblaciones afectadas por las operaciones.

Debido a la existencia de pequeños yacimientos inadecuados para la minería a mayor escala (vetas angostas y cortas) y la realidad social caracterizada por la falta de empleos satisfactorios y en número suficiente, resulta claro que en un futuro próximo la pequeña minería seguirá cumpliendo un papel destacado en el panorama socioeconómico del departamento de Oruro. Su evolución dependerá de una serie de factores de diversa índole, como económicos, técnicos, sociales, ambientales e incluso políticos.

La experiencia obtenida por el trabajo en emprendimientos similares en otras regiones de Bolivia y en países vecinos con características análogas referentes a tecnologías limpias en el sector de la pequeña minería aurífera, desarrollados por la Fundación Medio Ambiente, Minería e Industria[2] (MEDMIN), constituye la base de conocimientos que han permitido encarar la presente investigación que muestra la necesidad de un enfoque integral que incluya aspectos legales, socioeconómicos, técnicos y ambientales para una exitosa implementación de medidas ambientalmente limpias. Durante más de quince años de trabajo, una serie de equipos fueron diseñados, modificados, optimizados, producidos e implementados por el MEDMIN en estrecha colaboración con entidades académicas nacionales como la Universidad Técnica de Oruro (UTO) y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), a través de sus carreras relacionadas al ámbito minero-metalúrgico, para tener el sustento científico académico necesario en toda tarea de investigación. Asimismo, toda la información generada por el reciente estudio de diagnóstico del sector minero cooperativizado en el departamento de Oruro (cuyo informe final se sugiere como material de consulta en la bibliografía),

1 Asociación de trabajadores de carácter económico y social, creada para obtener beneficios a partir de la explotación de yacimientos minerales.

2 Hasta el año 2000, la Fundación MEDMIN trabajó como el Programa de Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería.

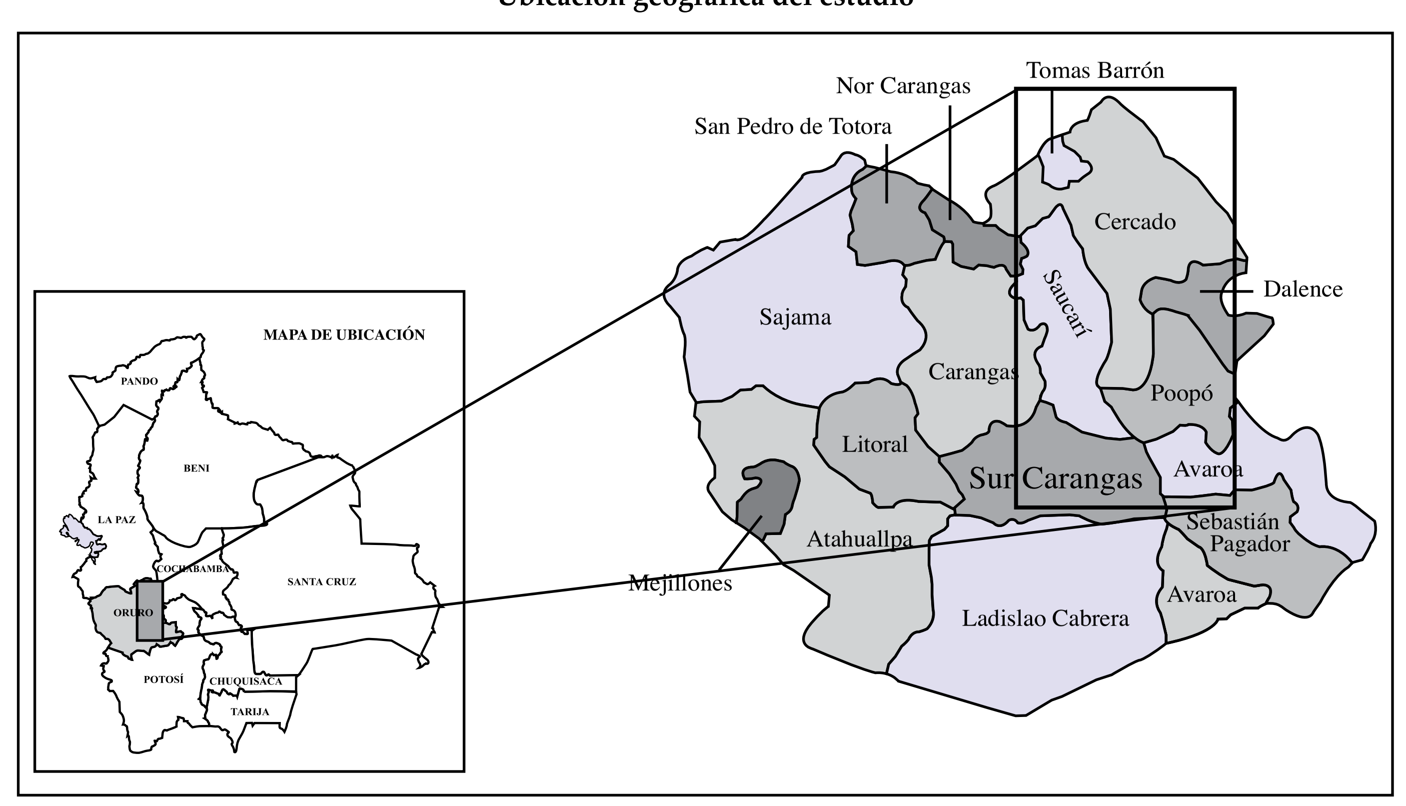
promovido por el Programa de Apoyo al Desarrollo Económico Sostenible en las Áreas Mineras Empobrecidas del Occidente de Bolivia (APEMIN II), que forma parte de las actividades de la Comisión Europea para apoyar la implementación exitosa del Plan Nacional de Desarrollo Alternativo y Desarrollo Económico Sostenible de las regiones mineras, y la continua labor de investigación del Centro de Ecología y Pueblos Andinos (CEPA) y el PIEB dieron una idea cabal del problema que se está encarando.

Con una inversión mínima, muchas de estas operaciones mineras pueden mejorar considerablemente su capacidad de producción, mecanizando los sistemas de tratamiento introduciendo equipos técnicamente eficientes, baratos y ambientalmente adecuados. Una ventaja es que todas las minas en el área del proyecto trabajan yacimientos similares, con tecnología, organización y tamaño de operaciones iguales o muy parecidas y con impactos ambientales afines.

En ese marco se desarrolló la investigación *Tecnologías limpias aplicables a la explotación de oro* con el objetivo de generar información rigurosa que coadyuve a la implementación de soluciones técnicas para disminuir la contaminación en la explotación de oro en el departamento de Oruro. El trabajo de campo se realizó en el área de las provincias Cercado, Pantaleón Dalence, Saucarí, Poopó y Eduardo Avaroa. Los resultados obtenidos permiten aseverar que la pequeña minería aurífera en el departamento es distinta en sus características a la minería tradicional, porque se basa en la explotación de un producto cuyas cotizaciones en el último tiempo son realmente favorables, con un mercado siempre abierto.

En la primera parte del libro se presentan los datos de la situación y un análisis sobre la problemática ambiental en el lugar de estudio. También se explica la metodología utilizada en este acercamiento y su utilidad. Más adelante se reflexiona técnicamente sobre los efectos de la contaminación en la explotación de oro y la búsqueda de soluciones. Para finalizar esta parte de la investigación se presenta una propuesta de tecnologías limpias y cómo éstas ayudarán a disminuir significativamente la contaminación en esta actividad minera.

Mapa 1
Ubicación geográfica del estudio



Fuente: Elaboración propia.

En la segunda parte del libro se presenta el proyecto para la implementación de estas tecnologías limpias. De una manera detallada e ilustrativa, se explica la posibilidad de implementar este proyecto y los beneficios concretos que brindará a la preservación del medio ambiente y la mejoría en la actividad de explotación de oro en el departamento de Oruro.

CAPÍTULO I

Situación actual y posibles soluciones

1. Antecedentes

De acuerdo al trabajo de campo realizado para el presente estudio en toda el área prioritaria de investigación (Provincias Cercado, Pantaleón Dalence, Saucarí, Poopó, Eduardo Avaroa), se constató la presencia de dos realidades muy diferentes: las operaciones de la compañía Inti Raymi por un lado y, por el otro, las operaciones mineras auríferas a pequeña escala de la zona de Iroco; ambos extremos ofrecen los ejemplos más ilustrativos de las formas de explotación de oro en Oruro. En general, las técnicas de procesamiento utilizadas por el sector de la pequeña minería aurífera primaria muestran una gran variedad de técnicas individuales que dependen especialmente de la situación financiera de los mineros y de sus conocimientos tecnológicos. La gama va desde la más primitiva (molinos de piedra), pasando por métodos que pueden encontrarse en *De re metallica*[3] (bateas, canaletas, *jigs* manuales, etc.), hasta equipos modernos que se diferencian muy poco de los utilizados por la minería sofisticada (mesas concentradoras, espirales concentradoras, centrífugas, etc.).

Durante estos procedimientos, los peligros de contaminación son muy elevados en dos etapas: cuando se evapora el mercurio y cuando el mercurio no recuperado pasa a formar parte del ciclo ecológico de la región. Estos últimos factores, más sus limitaciones respecto al tamaño de grano que se puede recuperar, han hecho que

3 Libro escrito en 1556 por Georgius Agricola, que versa sobre mineralogía. Algunas técnicas descritas en este documento se siguen utilizando hasta hoy.

este método sea empleado preferentemente. Otras fuentes de emisión de mercurio son producto del almacenamiento inseguro de las colas de amalgamación[4]; las colas generalmente son desparramadas en áreas aledañas a las plantas de procesamiento o descargadas en ríos y arroyos próximos.

Con tales antecedentes, las alternativas propuestas como solución a los diversos problemas se evaluaron económica y ambientalmente determinando el grado de viabilidad de cada una de ellas para compararlas y ordenarlas de acuerdo con su rentabilidad y capacidad de mitigación del impacto ambiental. Se espera que los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación contribuyan a una mejor calidad de vida y a un desarrollo sostenible a través de la lucha contra la contaminación ambiental.

2. Problemática

Se tienen identificados los impactos provocados por la pequeña minería aurífera en el departamento. La falta de conciencia ambiental e información sobre métodos disponibles para reducir los impactos contribuye a agravar esta situación, además de la total ausencia de incentivos para promover la adecuación ambiental de los operadores mineros. Sin embargo, hasta ahora se han realizado muchos y costosos estudios acerca de la contaminación causada por la actividad minera en Oruro, pero las soluciones propuestas a este grave problema son también de la misma magnitud, costosas y no sostenibles.

Los mineros cuentan con experiencia para la explotación del mineral, que en muchos casos se realiza manualmente y en otros con la ayuda de compresoras, máquinas de perforación y explosivos.

4 "La amalgamación es un proceso que se aplica para recuperar oro y plata nativa de materiales auríferos o argentíferos. El oro, la plata y varios otros metales y sus compuestos son capaces de alearse con el mercurio. Dichas aleaciones se conocen como amalgamas. La amalgamación en la minería aurífera sirve para recuperar el oro en forma de amalgama y así separarlo de los minerales acompañantes. La amalgama se forma por el contacto entre mercurio y oro en una pulpa con agua" [Wotruba, 2000]

Sin embargo, las operaciones en la etapa de explotación no están bien planificadas y muestran un bajo rendimiento. Es en este aspecto que hace falta conocimiento sobre la geología del yacimiento, un cálculo de reservas y un diseño eficiente de la orientación de los trabajos y de la extracción de la carga. Estas deficiencias afectan a la factibilidad de las operaciones.

En el campo de la concentración o beneficio existen numerosos problemas que no sólo presentan un efecto negativo en el plano económico, sino que también tienen un gran impacto ambiental que afecta el ecosistema en general. El más grave es provocado por la pérdida de mercurio por su uso en circuito abierto; la combinación de molienda y amalgamación simultánea contamina grandes cantidades de carga mineral con mercurio finamente atomizado durante el proceso y lamentablemente las colas o residuos de amalgamación son descargados o almacenados en zonas aledañas sin considerar las medidas de seguridad adecuadas.

Los sulfuros, que casi siempre acompañan al oro en las vetas (pirita, arsenopirita, pirrotina, etc.), son parcialmente recuperados con los concentrados obtenidos por métodos gravimétricos. Sin embargo, muy pocas operaciones se preocupan por recuperar sistemáticamente este valioso subproducto aurífero. Por el contrario, la mayor parte de los sulfuros (normalmente entre 5 y 10 kg. por tonelada de carga bruta) se vacían junto con las colas a algún río, laguna o se almacenan con las colas gruesas en depósitos precarios. Por oxidación, estos sulfuros producen ácidos, que bajan fuertemente el pH de las aguas, causando una elevada lixiviación[5] de metales pesados. Con toda esta información disponible, la pregunta es ¿cuáles son las medidas posibles para solucionar este grave problema?

---

[5] Cuando el agua y el oxígeno del aire entran en contacto con un mineral sulfuroso se produce el fenómeno de la disolución o lixiviación de algunos de los componentes del mineral, en este caso de los metales pesados. De esta manera se genera drenaje ácido de roca de elevada acidez y un alto contenido de metales pesados disueltos. El drenaje ácido puede contaminar aguas subterráneas y superficiales, que en la mayoría de los casos desembocan en cuencas y lagos, constituyéndose en un alto potencial de riesgo a los frágiles ecosistemas existentes.

Las soluciones a los problemas ambientales causados por procesos productivos (en este caso la pequeña minería) son casi siempre técnicos, pero el camino para su implementación debe ser integral, interdisciplinario y participativo (sobre todo en procesos productivos comunitarios como es el caso de la minería). Por otro lado, solamente procesos participativos tampoco solucionan los problemas si es que no se dispone de soluciones técnicas

Existen procesos menos contaminantes, pero ¿son económicamente viables en un contexto de economía de subsistencia? También existe mucho potencial para propuestas innovadoras, de tecnologías más productivas y a la vez menos contaminantes (tecnologías limpias). De esta manera surge inevitablemente la pregunta de si las tecnologías limpias son rentables.

Las denominadas tecnologías limpias son parte de la gestión ambiental, que comprende dos tipos de actividades: las basadas en el conocimiento de los problemas y las orientadas a solucionar éstos. Las tecnologías limpias son herramientas, métodos y prácticas necesarias para producir bienes y entregar servicios con menos impacto sobre el medio ambiente.

Antes de elegir una técnica específica se debe examinar cuidadosamente la técnica tradicional usada por los mineros. Es importante considerar que en la mayoría de los casos es mejor optimizar una técnica conocida y mejorar su utilización que introducir una nueva. Un paquete óptimo de tecnología puede fracasar debido al rechazo de los mineros. Las técnicas a ser aplicadas no deben ser seleccionadas solamente por su aspecto técnico. Específicamente, los antecedentes socioeconómicos y socioculturales, así como la infraestructura regional y local de la zona, deben estar integrados en la planificación.

Los grupos que conforman el ámbito de la pequeña minería (cooperativas, asociaciones, etc.) son muy heterogéneos, de manera que resulta difícil asignarles características generales, incluso en cuanto al tamaño de las operaciones, el nivel tecnológico y grado de mecanización, la forma de organización, trabajo e impactos ambientales. Asimismo, prevalece la dificultad para mencionar cifras exactas en

cuanto a la producción promedio, considerando las amplias fluctuaciones que las caracterizan.

Según la experiencia de los investigadores de este proyecto y de otros, se conoce que para el éxito de un proyecto cuyo objetivo es la transferencia de tecnologías limpias es decisiva la selección correcta y apropiada de las soluciones técnicas que se pretenden implementar. En muchos casos el grupo meta tiene ideas preconcebidas, preferencias e idealizaciones de un determinado proyecto basadas en criterios subjetivos que a menudo son antagónicos. Por otro lado, a través de la ejecución de proyectos de desarrollo e implementación de tecnología, se han podido identificar factores y criterios que determinan la aceptación y los efectos económicos y ambientales de la implementación de esas innovaciones técnicas. Esto incluye particularmente las posibilidades para fabricar el equipo localmente. La mayoría de los equipos requeridos para las técnicas empleadas en la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro deben y pueden ser producidos en fábricas o talleres nacionales, regionales y locales.

Por lo tanto, un análisis de esta aceptación debe ser parte integral de cualquier planificación de un proyecto técnico. La experiencia ha demostrado en muchas ocasiones que la mejora de tecnologías ya existentes y conocidas tiene una mayor oportunidad de ser aplicada y difundida que la implementación de técnicas nuevas y desconocidas para los mineros.

Luego de seleccionar una técnica, ésta debe ser cuidadosamente examinada a través de extendidas pruebas de campo. Solamente cuando se tenga la absoluta seguridad de que la técnica a ser implementada es perfectamente operativa debe ser presentada. Al adelantar la implementación podría ocurrir el rechazo de los mineros si la técnica no funciona perfectamente. De esta manera, se podría desaprovechar un largo proceso de convencimiento y un largo trabajo de concientización. Aquí, una vez más, es esencial proceder con calma y cautela.

Sin duda, la clave para realizar cambios es la economía. Felizmente, en el caso de la pequeña minería aurífera, existen varias

posibilidades para combinar menor contaminación con mayor ingreso. Minimizar la cantidad de mercurio utilizado significa menos gastos y recuperar sulfuros es un ingreso adicional. Otros problemas, por ejemplo la clarificación de aguas, significan un costo adicional y por esto mucho más difícil de iniciar. Sin embargo, la presión por parte de las poblaciones campesinas aledañas ayuda en muchos casos en el cambio de actitud y los métodos utilizados.

3. Objetivos

Objetivo general

El objetivo general de esta investigación es generar información teórica y técnicamente consistente que contribuya a la implementación de alternativas de solución concretas a los problemas ligados a la contaminación minera causada por la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro mediante la aplicación de tecnologías limpias.

El presente estudio, a través de toda la generación de información, contribuye a entender mejor el papel de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro basado en la explotación intensiva del recurso humano, en el aprovechamiento selectivo pero no óptimo de los yacimientos, utilizando sólo las zonas mineralizadas de mayor riqueza y convirtiendo en recursos marginales a las reservas restantes. Además de una ausencia, muchas veces involuntaria, de interés por la calidad ambiental.

Objetivos específicos

Uno de los objetivos específicos es producir información actualizada y precisa respecto a las actividades del sector de la pequeña minería aurífera en el departamento y su incidencia en la problemática de la contaminación ambiental. Los resultados permiten manifestar que la pequeña minería aurífera en el departamento es algo distinto a la minería tradicional porque se basa en la explotación de un producto cuyas cotizaciones en el último tiempo son realmente favorables, con un mercado siempre abierto. Esta realidad permite la formación, implementación y desarrollo de una serie de

emprendimientos. Algunas de estas organizaciones alcanzan un grado relativamente elevado de consolidación. No obstante, la falta de asistencia financiera, técnica, formativa e informativa externa (de entidades financieras, instituciones estatales, proyectos, etc.) frenan la consolidación de estas operaciones que, salvo contadas excepciones, aparecen más como consecuencia de un auge coyuntural que como un factor de solidez estructural. El efecto inmediato son operaciones mineras técnicamente ineficientes y ambientalmente no adecuadas. El segundo objetivo específico es contribuir con alternativas de solución coherentes mediante la propuesta de un proyecto de implementación de tecnologías limpias que incida en la prevención y mitigación eficaz de los impactos producidos por la actividad minera.

Es posible afirmar que para los problemas técnico-ambientales del sector de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro existen soluciones, desde las más simples hasta las más complejas, que se pueden implementar directamente de acuerdo a las características de cada operación. No es necesario desarrollar nuevas tecnologías, con toda la información técnica sobre procesos, máquinas y métodos desarrollados hasta hoy se puede dar solución a los múltiples problemas que se pudieron detectar.

CAPÍTULO II
Metodología

La metodología del presente trabajo, tanto en sus fases de recopilación de información, de análisis de los mismos y proposición de sugerencias, se diseñó considerando la naturaleza de los procesos participativos propuestos en el proyecto en general. Esta metodología se fundó en los principios de investigación-acción, definiendo la participación de los destinatarios del cambio tecnológico como una parte esencial de la misma.

1. Fuentes primarias

Las reuniones informativas y de presentación del proyecto con los principales dirigentes de FEDECOMIN Oruro permitieron verificar la existencia de organizaciones cooperativas dedicadas a la explotación de oro en pequeña escala, afiliadas a sus entidades matrices. Se diseñó, como una etapa previa, un recorrido de visita con el objeto de realizar observaciones directas a las operaciones mineras por parte del equipo de investigadores.

Para la aplicación de técnicas, en cada caso se realizaron entrevistas con informantes claves, aun cuando se comprobó que algunas operaciones se realizan de forma individual o simplemente a nivel familiar, con y sin concesión minera. La observación directa de los métodos y tecnología empleada, bosquejo de flujogramas de los procesos metalúrgicos que ayuden al análisis de las necesidades de cada operación, planteamiento de medidas correctivas y recomendaciones técnicas in situ son mecanismos que también brindaron valiosa información.

La determinación del universo comprende a todas las operaciones mineras auríferas del sector de la pequeña minería en el departa-

mento de Oruro incluidas en el área prioritaria de investigación, cuyo impacto ambiental es particularmente importante. La mayor cantidad de operaciones mineras están asentadas en la zona de Iroco (siete organizaciones cooperativas), otras más informales en las zonas de Machacamarca, Caracollo, Saucarí, Paria y Sora Sora.

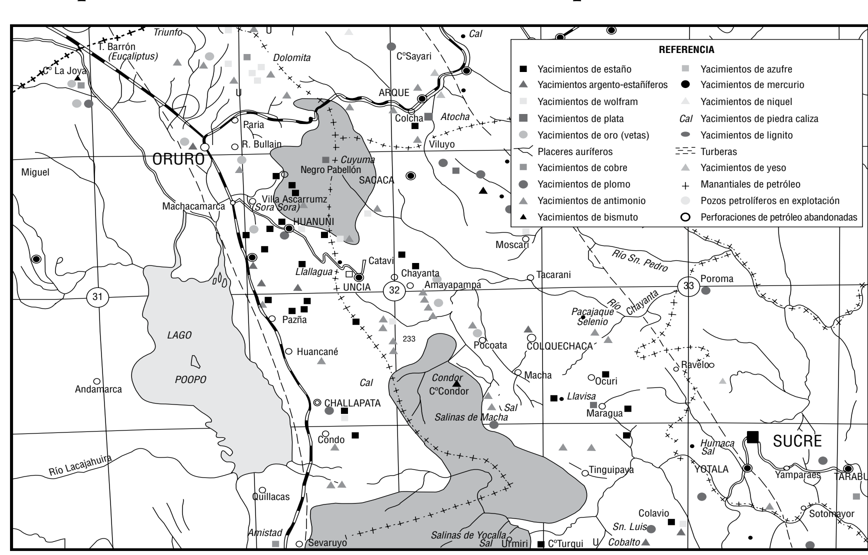
2. Fuentes secundarias

Esta etapa de la investigación permitió generar información respecto a las actividades del sector de la pequeña minería en general y a la pequeña minería aurífera en particular en el departamento de Oruro respecto a sus características técnicas, las consecuencias o impactos para el medio ambiente, los aspectos sociales y los aspectos económicos. Se revisaron, detalladamente, materiales y documentación existente (en versión impresa y digital) de la Federación de Cooperativas Mineras de Bolivia (FENCOMIN), de la Federación Departamental de Cooperativas Mineras de Oruro (FEDECOMIN Oruro), del Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas (SERGEOTECMIN), de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), APEMIN, del PIEB, del CEPA, de la UTO, MEDMIN, etc.

La información más reciente muestra evidencias de una continua e importante mineralización aurífera a lo largo de una "faja" en el extremo este de la Cordillera Oriental, con ocurrencias[6] como Iroco, Antofagasta, Korimina, San Bernardino, Nobel, Isvaya, Candelaria, etc., que sugieren la presencia de un importante distrito aurífero en el Altiplano Central. Los depósitos auríferos identificados son: Iroco (Au), Antofagasta (Sb-Au), Korimina (Au), San Bernardino (Sb-Au), Nobel (Au), Isvaya (Au), Candelaria (W, Au), etc. La denominación de "Altiplano Central" fue adoptada con fines de exploración para definir la región comprendida entre Oruro y Challapata, la cual está localizada entre las coordenadas 17º55′ y 18º50′ de latitud sud y 66º43′ a 67º10′ de longitud oeste.

[6] En geología se llama "ocurrencia" a la concentración anómala de un mineral que se considera valioso o que es de interés científico y técnico.

Mapa 2
Depósitos auríferos identificados en el departamento de Oruro



Fuente: Yacimientos Minerales de Bolivia. F. Ahlfeld.

Si las coordenadas arriba mencionadas se superponen en un mapa, se ve que coinciden con las coordenadas del área prioritaria de investigación presentada en el documento de convocatoria. Los datos obtenidos de SERGEOTECMIN y COMIBOL muestran, además, las zonas donde existen concesiones mineras.

3. Actividades de campo

El proceso fue llevado a cabo por un equipo multidisciplinario, lo que permitió evitar sesgos interpretativos. Sin embargo, es un hecho innegable que —del barranquilleo informal[7] a la compañía transnacional pasando por la empresa chica y la cooperativa minera— existen tremendas diferencias con referencia a métodos de extracción, técnicas de concentración, niveles de organización, capacidad de planificación, recursos disponibles, participación social, apoyos políticos e impactos ambientales.

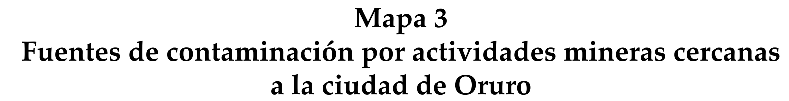
7 Del término castellano "barranco". Es una actividad anexa típica de las explotaciones auríferas que consiste en seleccionar manualmente "chispas o pepitas" de oro. Representa el grado más bajo en la escala social minera aurífera.

Para la planificación de la implementación de medidas técnico-ambientales mediante tecnologías limpias fue importante determinar el tipo de condiciones locales en las que se ubica el proyecto y recabar la siguiente información:

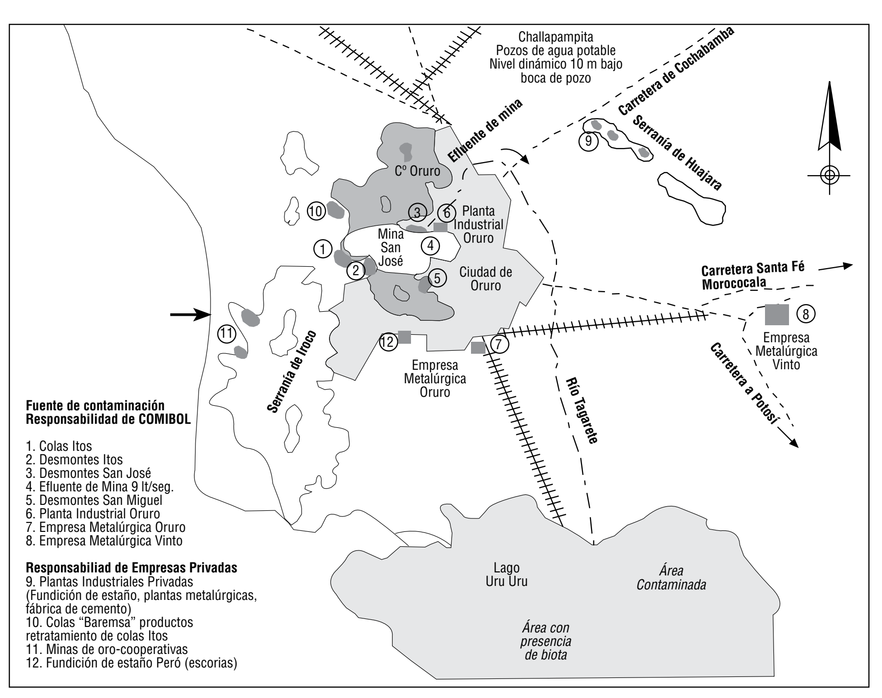
- Ubicación, infraestructura disponible, acceso, etc.
- Tipo de uso del suelo (áreas protegidas, comunitarias, reservas forestales, etc.).
- Tipo de yacimiento, características geológico-mineralógicas.
- Tipo de organización de la operación (cooperativa, sociedad, etc.).
- Tecnología aplicada (métodos de explotación, extracción, beneficio).
- Verificación in situ de las condiciones ambientales actuales y las medidas ambientales que se pueden implementar a través del uso de tecnologías limpias en el procesamiento de los minerales auríferos y en el tratamiento de los pasivos ambientales existentes.
- Verificar e identificar la existencia de documentación ambiental (ficha ambiental, manifiesto ambiental, evaluación del impacto ambiental, etc.).
- Difusión y explicación de los objetivos y alcances del proyecto.

4. Procesamiento de la información

Se procesó la información con metodologías de análisis cualitativo para obtener una exhaustiva caracterización de las variables que intervienen, es decir, el sistema técnico actual y el sistema tecnológico a proponer. De igual manera se realizaron estimaciones cuantitativas de todas aquellas variables que permitieran complementar los análisis cualitativos.



Mapa 3
Fuentes de contaminación por actividades mineras cercanas a la ciudad de Oruro

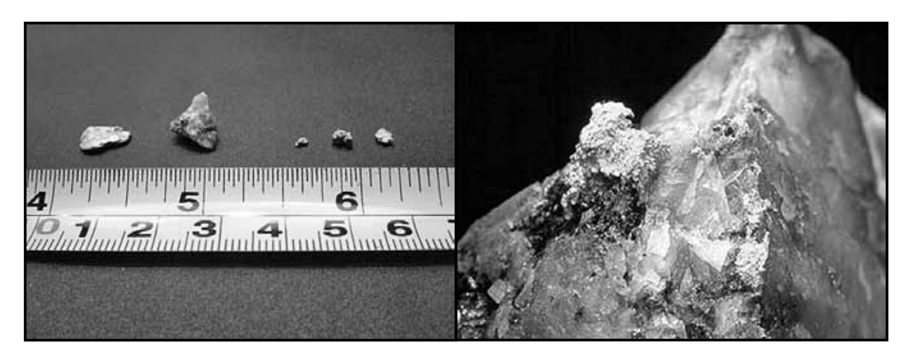


Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III
Contaminación y explotación de oro

1. El efecto del mercurio

La pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro aprovecha principalmente vetas de cuarzo (rocas duras) con oro nativo, generalmente acompañado por sulfuros y óxidos metálicos. El metal precioso puede presentarse en forma macroscópica y visible, sea entrecrecida e imperceptible a simple vista.



Caracterización de vetas auríferas y forma de presentación del oro en yacimientos trabajados por el sector de la pequeña minería. Fotografía: Félix Carrillo.

La amalgamación se utiliza tanto en la pequeña minería primaria (de vetas y filones como es el caso de los yacimientos de Iroco) como en la minería aluvial y se pueden diferenciar dos tipos de técnicas:

1) Amalgamación en "circuito abierto". Toda la carga (el material aurífero) se pone en contacto con mercurio en un flujo continuo de pulpa. No es posible recuperar todo el mercurio en forma de amalgama, una parte de éste, en forma metálica

libre (gotas o partículas finísimas) o en forma de amalgama (partículas finas o flóculos), escapan en las colas, contaminando una gran cantidad de material.

2) Amalgamación de concentrados (o amalgamación en "circuito cerrado"). Sólo una pequeña parte del material tratado (un "concentrado", generalmente producido gravimétricamente) se pone en contacto con el mercurio en un ambiente parcial o totalmente cerrado, donde la amalgamación se realiza sin la emisión de porción alguna de pulpa (por ejemplo en un tambor amalgamador en la Cooperativa 10 de Febrero).

Sin embargo, las colas de la amalgamación de concentrados todavía contienen mercurio en cantidades variables (dependiendo del tipo de carga y proceso de amalgamación utilizado). La amalgamación en un tambor amalgamador se hace en un ambiente cerrado; la amalgamación manual se hace en un ambiente semi-cerrado. Se advierte que un proceso no puede considerarse como circuito cerrado completamente si sus colas contaminadas se vacían al medio ambiente o si hay fugas de mercurio, por ejemplo por evaporación durante el proceso.

El uso de mercurio en circuito abierto es un problema que sin duda acarrea las mayores pérdidas de mercurio en la producción de oro. Las minas, que utilizan mercurio directamente en sus molinos (trapiche o molino a bolas) para realizar molienda y amalgamación simultánea, pierden cantidades considerables de mercurio. Por lo general, el intento de recuperar amalgama se realiza con simples trampas gravimétricas o planchas de amalgamación; por esto las colas contienen aún oro libre, amalgama y mercurio libre.

Experiencias y evaluaciones técnicas realizadas en varias operaciones mineras demostraron que la recuperación de oro en circuito abierto, por lo general, es menor que cuando se utiliza un equipo de concentración gravimétrica cuidadosamente diseñado y operado. Por falta de conocimientos técnicos no se logra esta optimización. Por esta razón se sigue utilizando mercurio en circuito abierto, pese a que, desde un punto de vista técnico-económico, este tipo de amalgamación no presenta ninguna ventaja.

Un menor consumo de mercurio y una mayor recuperación de oro permiten un ingreso más alto, hecho que todavía no se entiende bien. Un concentrado muy rico produce menos colas de amalgamación (menor contaminación) o, en algunos casos, la posibilidad de fundición directa. Por lo tanto, mejorar los procesos de concentración gravimétrica es muy importante para la reducción de la contaminación con mercurio.

Durante la amalgamación de concentrados se pierde en las colas inevitablemente un porcentaje del mercurio utilizado debido a que éstas, por lo general, no son depositadas de manera segura. Ya en la etapa de separación de oro y mercurio se pierde generalmente el mercurio que forma parte de la amalgama (si no se utiliza algún método de recuperación, por ejemplo una retorta). El porcentaje de mercurio en la amalgama depende mayormente de la granulometría del oro y de la manera en que se exprime la amalgama para separar el mercurio libre. Generalmente, el oro fino, debido a la gran superficie que presenta, atrapa más mercurio por kilogramo de amalgama que el oro grueso. Las relaciones Hg/Au medidas en diferentes operaciones varían entre 0,5 Hg/1 Au hasta 2 Hg/1 Au.

Las pérdidas de Hg durante la limpieza de la esponja de oro (producto de la quema de amalgama) son muy variables (dependiendo de la granulometría, tamaño del bollo-esponja, tiempo y temperatura de la quema, etc.) y pueden alcanzar algún porcentaje del peso del metal. Por esto, los compradores requeman la bola de oro (por ejemplo, en Caracollo) para asegurarse de que la misma esté bien quemada y sin restos de mercurio en su interior y/o funden el oro que compran para eliminar impurezas (también mercurio).

Los datos obtenidos sobre las principales fuentes de emisiones de mercurio en los procesos tradicionales de recuperación de oro visitados muestran niveles diferenciados en función al impacto ambiental:

Tabla 1
Emisiones de mercurio en los procesos tradicionales

1.- Emisiones en procesos de concentración en circuito abierto (5-10 kg Hg/kg Au recuperado)
2.- Emisiones por las colas de amalgamación contaminadas (0,01-1 kg Hg/kg Au recuperado)
3.- Emisiones en procesos de separación oro-mercurio (0,5-2 kg Hg/kg Au recuperado)

Fuente: MEDMIN

De igual manera, existen concentrados en los que algunos componentes contaminan el mercurio, o el mismo oro está cubierto por pátinas de diferentes sustancias (por ejemplo óxidos). Esto se observa especialmente en la amalgamación de los concentrados sulfurosos de minas primarias. Aquí las pérdidas de mercurio en forma de harina pueden exceder el 10 % del mercurio utilizado en el proceso.

El mercurio, por el uso frecuente o intenso (por ejemplo varias veces exprimido), se contamina y pierde su poder de amalgamación. Los mineros desechan este llamado "mercurio cansado" aun cuando saben que el mercurio es una sustancia costosa (actualmente tiene un costo aproximado de 70 y 100 $US/kg).

2. Colas de amalgamación

Las colas de amalgamación siempre están contaminadas con mercurio en cantidades muy variadas. Existen dos posibilidades de acción (a parte de la más importante, que es minimizar el contenido de mercurio):

- Depositarlas apropiadamente.
- Limpiarlas.

Ambas alternativas casi son imposibles de aplicar a colas de amalgamación en circuitos abiertos en las condiciones de la pequeña minería. La cantidad de colas para una pequeña mina aurífera primaria (por ejemplo la planta anterior de la Cooperación Libertad), en una operación típica con una capacidad promedio de 20 toneladas al día, suma en un año alrededor de 6.000 toneladas. Si bien existen

maneras de limpiar colas contaminadas por mercurio, es poco probable que una pequeña operación minera realice esta limpieza.

Para colas de amalgamación de concentrados se habla de otros volúmenes: los concentrados gravimétricos que se amalgaman en "circuito cerrado" (por ejemplo la planta de la Cooperativa 10 de Febrero) son, para la misma capacidad de la mina (20 t/d), no más de 10 a 50 kilogramos por día. La cantidad acumulada alcanza entre 3 a 15 toneladas por año. Se trata de un máximo de alrededor de 10 m^3 por año. Esta cantidad de material contaminado sí puede ser depositada de una manera segura o limpiada. Frecuentemente se puede demostrar a los mineros que este material todavía contiene considerables cantidades de oro, de esta manera se puede incentivar para que las colas puedan ser almacenadas en un lugar seguro para un futuro tratamiento. Por lo tanto, tampoco se pierde la posibilidad de un futuro reprocesamiento con métodos descontaminantes.

Para colas sulfurosas, las cuales actualmente se venden cada cierto tiempo a plantas de lixiviación, necesariamente se debe instalar un depósito temporal. Este generalmente es una simple piscina o tolva de hormigón, techada y bien ventilada, donde se almacenan las colas hasta su transporte a la planta de lixiviación en forma suelta, o mejor, en sacos (cabe mencionar que estas plantas actualmente funcionan en el Perú, hasta donde son transportadas las piritas auríferas para su posterior tratamiento con cianuro).

Las colas contaminadas con mercurio, que no pueden ser vendidas como subproductos auríferos, se tienen que acumular en depósitos apropiados. Los requerimientos para estos son:

- Evitar el contacto con aguas subterráneas.
- Protección contra el arrastre de aguas de lluvia.
- Protección contra arrastres de viento.

La base impermeable y las paredes del depósito se pueden construir utilizando materiales del lugar, como arcilla, bentonita, caolinita, etc. Si está disponible, es recomendable utilizar un material

con alto contenido de hidróxido ferroso (limonita presente en suelos lateríticos) debido a su alta capacidad de absorción de mercurio o utilizar plástico grueso (por ejemplo polietileno de alta densidad, HDPE), que se consigue fácilmente cuando existen minas grandes en los alrededores.

Otra medida de protección puede ser la cobertura de las colas contaminadas con una capa de varios centímetros de piritas no-contaminadas debajo de una capa de materiales impermeables (arcillas, etc.). El ambiente anaeróbico promueve la estabilización del mercurio en forma de cinabrio (HgS) poco soluble y tóxico.

La construcción de un depósito seguro (con revestimiento de HDPE, sobre una capa de arcilla impermeable, etc.) para las colas o residuos mineros contaminados con mercurio, por su elevado costo, es casi inalcanzable para la pequeña minería. Además, el manejo de un dique de colas requiere bastante conocimiento técnico e implica muchos peligros. Por esto, es preciso recalcar que no se debe amalgamar en circuito abierto.

3. Limpieza de colas

Existen varios métodos para la limpieza de materiales inorgánicos contaminados por mercurio:

- Métodos gravimétricos: como se mencionó anteriormente, se puede recuperar parte de la harina de mercurio utilizando equipos gravimétricos (canaletas con alfombras, mesas concentradoras, espirales, centrífugas, etc.).
- Planchas amalgamadoras: si el mercurio atomizado no es demasiado sucio, se puede recuperar parte del mercurio con planchas amalgamadoras.

Sin embargo, los dos métodos anteriormente presentados no lograrán limpiar las colas totalmente. Los resultados dependen mucho de la granulometría (en caso de equipos gravimétricos, el mercurio en bolitas gruesas es bastante fácil de recuperar) o la superficie del mercurio (en caso de planchas amalgamadoras).

Existen otros métodos:

– Métodos térmicos.
– Métodos químicos.
– Flotación.

Si bien los mismos han dado buenos resultados en algunos casos, no son fácilmente manejables y requieren de mayor inversión y personal experimentado.

Este listado muestra que los métodos para limpiar los concentrados son de eficiencia limitada o complicados y costosos. Por esto, en la mayoría de los casos la acumulación en depósitos adecuados es recomendable y tiene mayor posibilidad de ser aplicada para la pequeña minería.

CAPÍTULO IV

Estudio técnico y ambiental para la optimización de tecnologías limpias

---

1. Aspectos técnicos

La amalgamación es uno de los métodos más antiguos para recuperar oro. Según Herbert Hoover, en una nota de pie de su traducción del libro de Georgius Agrícola *De re metallica,* la amalgamación de oro data posiblemente de tiempos del Imperio Romano.

La amalgamación de minerales auríferos fue descrita por Agrícola en *De re metallica,* su obra publicada en 1556, y es en esencia el mismo proceso que se practica hasta ahora. Los únicos cambios están en la maquinaria empleada y el tipo de energía utilizada para moler, mezclar y separar el oro del mercurio.

Sin embargo, aunque hoy en día los procesos químicos y físicos están más claramente entendidos, los actuales manuales técnicos tienen instrucciones de procesos muy similares a los métodos antiguos y el texto *De re metallica* aún es usado como una fuente importante de referencia y consulta. Este hecho se hace más evidente en la pequeña minería aurífera, la cual en la mayoría de los casos sigue utilizando métodos rudimentarios y artesanales para recuperar el oro.

Desde la última década y en muchos casos, el oro ha sustituido a otros metales y minerales como principal fuente de ingresos para muchos mineros. Sea en vetas primarias o en depósitos aluviales, se lo encuentra en casi todas las zonas geográficas del país. El alza de su cotización cuando cayó el precio de los otros minerales tradicionales explica que haya despertado tantas esperanzas y ambiciones. Entre los factores que explican su prosperidad se encuentran la presencia

de una profusión de pequeños yacimientos auríferos que pueden ser beneficiados únicamente a escala reducida y, por otra parte, la escasez de opciones económicas diferentes para muchos habitantes de la región.

La pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro se basa en un producto que, hasta mediados del 2009, presenta un horizonte prometedor gracias al mantenimiento de una cotización favorable (por encima de 1.100 $US por onza troy). No obstante, la falta de asistencia financiera, técnica y formativa externa, combinada con una lamentable disciplina interna, frena la consolidación de estas operaciones que aparecen más como la consecuencia de un auge coyuntural que como un factor de solidez estructural.

La ampliación de las escalas de producción y la introducción de nuevas tecnologías requieren de flujos de inversión en capital, así como capacidad técnica y organizativa. La pequeña minería permite un lento renacimiento del sector, basado en la explotación intensiva del potencial humano, con el aprovechamiento selectivo irracional de los yacimientos, utilizando sólo las zonas mineralizadas de mayor riqueza y convirtiendo en recursos menos rentables las reservas restantes, muchas veces con ausencia de consideración por la calidad ambiental.

Según los conocimientos técnicos y los recursos financieros de los mineros, la preparación del mineral y la recuperación del oro se llevan a cabo de acuerdo a esquemas diversos que van de la instalación manual más rústica al ingenio mecanizado con una capacidad que oscila generalmente entre 2 y 20 toneladas diarias de material bruto. Los filones son explotados manualmente o con compresoras de aire y perforadoras neumáticas, siendo común el uso de explosivos. Gravimetría y amalgamación son los métodos más usados para recuperar el oro, siendo muy rara la flotación y totalmente ausente la lixiviación con cianuro (a diferencia de lo que sucede en otros países, por ejemplo en Perú y Ecuador).

La técnica de la amalgamación es relativamente simple en su utilización, básicamente consiste en poner en contacto el oro y el mercurio utilizando diversas técnicas y equipos para favorecer

la formación de la amalgama. Luego se procede a la separación evaporando el mercurio queda libre el oro metálico; el mercurio condensado puede ser nuevamente empleado en el proceso de amalgamación.

Los peligros de contaminación son muy elevados en dos etapas: cuando se evapora el mercurio y cuando el mercurio no recuperado pasa a formar parte del ciclo ecológico de la región. Estos últimos factores, además de sus limitaciones respecto al tamaño de grano que se puede recuperar, han hecho que este método se emplee con preferencia[8].

El método simple de procesamiento que se realiza en pequeña minería aurífera primaria del departamento de Oruro se puede describir de acuerdo a los pasos detallados en el libro *Manejo ambiental en la pequeña minería* (Wotruba, 2000):

1. Selección manual de trozos de mineral con chispas de oro.
2. Trituración y molienda con un martillo manual.
3. Lavado del material molido utilizando una batea para separar el oro grueso.
4. Si el oro es fino, amalgamación manual del concentrado en batea.
5. Estrujado de la amalgama utilizando un paño fino para separar el mercurio libre.
6. "Quema" de la amalgama al aire libre para evaporar el mercurio.

---

[8] Los párrafos anteriores, desde el inicio del Capítulo III hasta la referencia a pie de página, forman parte del artículo de difusión de los resultados del presente proyecto. Fueron publicados anteriormente en el suplemento "Perspectiva minera" del periódico La Patria en la ciudad de Oruro, el 30 de octubre del 2009. También en el blog "Minería de Bolivia", el 2 de diciembre del 2009. Félix Carrillo, coordinador del proyecto.

Como se refiere en dicho libro, en las etapas finales no se utilizan equipos para recuperar el mercurio como tampoco equipos de protección.

También "existen muchas variantes de las técnicas descritas y debido a que todas son manuales y discontinuas, solamente se pueden procesar cantidades muy pequeñas, alrededor de 20 a 50 kg de carga al día por hombre, dependiendo de la dureza del material. Frecuentemente, se recurre previamente a una trituración y molienda gruesa en seco, utilizando el llamado 'quimbalete', también de piedra, con el que se puede triturar y moler hasta unos 200 kg al día por hombre" (Wotruba, 2000). En el propósito de mecanización existe una primera instancia que es la utilización de lo que se llama "molino chileno" o "trapiche". "En este molino, el uso de mercurio es casi generalizado para combinar molienda y amalgamación. Su régimen de funcionamiento produce excesiva atomización del mercurio. En general, después del molino chileno se utilizan placas amalgamadoras, o una simple canaleta empedrada (*tojlla*), que sirven como trampas para retener el oro grueso libre y la amalgama. En este sentido, ni las placas, ni las canaletas empedradas sirven para garantizar una buena recuperación del oro libre, la amalgama y el mercurio atomizado" (Wotruba, 2000).

En *Manejo ambiental en la pequeña minería* se explica que en operaciones más grandes se utilizan también otro tipo de maquinaria:

– Pequeñas trituradoras de mandíbulas.
– Molinos a bolas, desde 2′ x 3′ hasta 3′ x 4′, con capacidades entre 5 a 15 toneladas por día.
– Canaletas empedradas, placas amalgamadoras, mesas concentradoras, etc.

En estas técnicas es común, como en las anteriormente detalladas, adicionar mercurio a los molinos a bolas. Es así que la atomización del mercurio es igual o mayor, por lo tanto las pérdidas de mercurio en polvo en la etapa de concentración son considerables. "Las pocas minas que no usan mercurio en el molino (especialmente en yacimientos de oro grueso) amalgaman sus concentrados

manualmente en bateas o en pequeños tambores amalgamadores. En estos últimos, si la operación es inapropiada (altas revoluciones, uso de mercurio en exceso, falta de una etapa de prelavado del concentrado, uso excesivo de medios molturantes, uso de mercurio contaminado, tiempos largos de amalgamación, etc.) se producen cantidades elevadas de mercurio atomizado, perdiéndose luego en las colas de amalgamación" (Wotruba, 2000).

Flujograma 1
Proceso tradicional en varias operaciones mineras

Mineral de mina
QUIMBALETE
Mercurio
BATEA
Relave (con mercurio y oro fino)
Amalgama
Gases de mercurio
Calentado (llama)
ORO

Fuente: Elaboración propia.

Flujograma 2
Uso del molino chileno o trapiche en el proceso (Santa Elena)

Trituradora de mandíbulas

Mercurio

Trapíche

Canaleta con piedras (toilla)

Preconcentrado

Colas al río

Batea

Concentrado

Mercurio

Amalgamado

Soplete a gasolina

Gases de mercurio

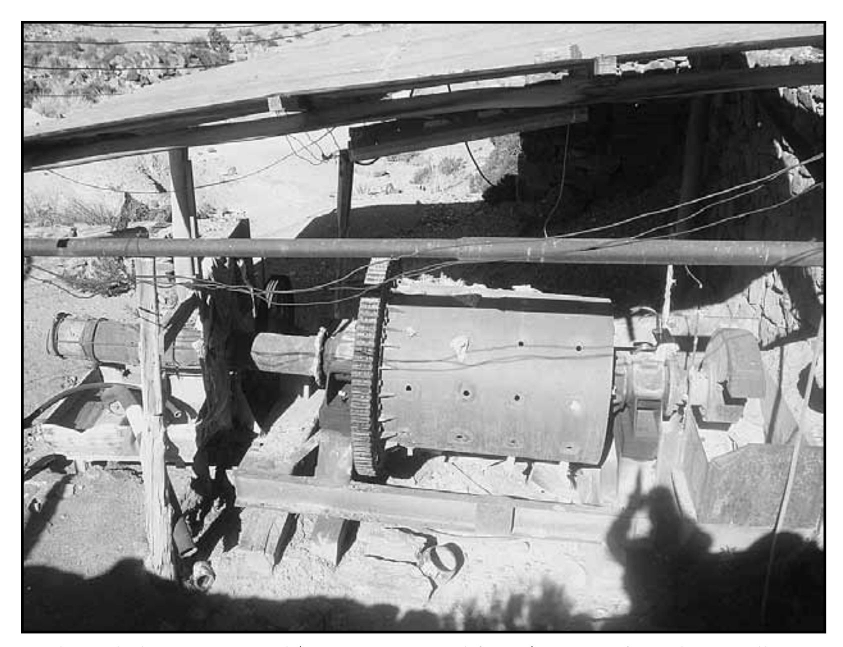
ORO

Quemado

Fuente: Elaboración propia.



Chancadora o trituradora de mandíbulas (Libertad). Fotografía: Félix Carrillo.



Molino a bolas con trommel (San Francisco California). Fotografía: Félix Carrillo.

Flujograma 3
Planta de tratamiento Cooperativa 10 de Febrero

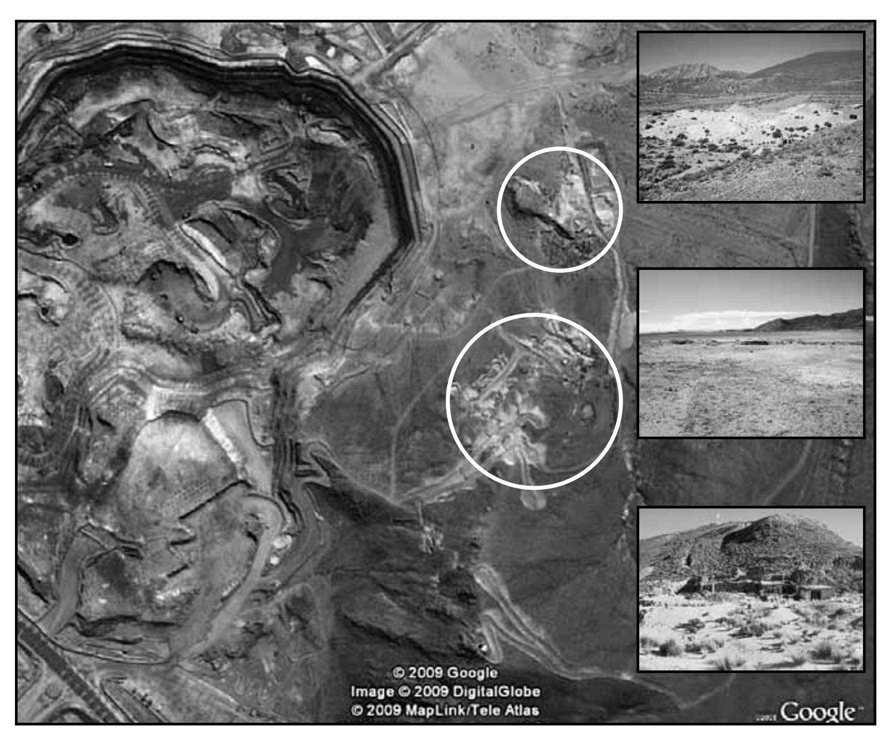
Carga de mina
Trit. Mandíbulas
Buzón Finos
Gruesos
Clasif. Espiral
Molino 2' x 3'
Clasif. hidraúlico
Mesas Concentradoras
Concentrados
Reciclaje de mercurio
Amalgamador
Elutriador
Retorta
Colas Mesas
Budles
Lamas
Decantador
Cola final
ORO
Agua decantada
Depósito de colas secas

Fuente: Elaboración propia.

Por lo general, es muy baja la recuperación de oro en las plantas de procesamiento. Esto sucede porque el oro muchas veces no se puede recuperar con técnicas sencillas de concentración gravimétrica o por amalgamación.

La combinación de molienda y amalgamación ocasiona altas pérdidas de pequeñas partículas de oro atrapadas en la harina de mercurio o bajo la forma de flóculos de amalgama-oro, que a veces contienen burbujas de aire o agua atrapadas. Estos flóculos tienen, en general, un peso específico relativamente menor y una gran superficie, por lo que son fácilmente arrastrados a las colas. La presencia de sulfuros (pirita, arsenopirita, etc., alrededor de 5-10 kilos de sulfuros por tonelada de material de veta) constituye un subproducto muy interesante, con contenidos de oro que varían entre 40- 200 gramos por tonelada (por ejemplo, una muestra de piritas auríferas del depósito de colas de una de las cooperativas en la zona de Iroco dio como resultado en el análisis químico 400 gramos de oro por tonelada), pero por desconocimiento de su valor generalmente no son recuperados y se pierden en las colas. (Wotruba, 2000)

A menudo las colas son diseminadas en lugares cercanos a las plantas de procesamiento. También son vaciadas en ríos de la región, lo que provoca disminución de la flora y fauna por efectos de la contaminación. Otro problema es "la emisión de sulfuros hacia arroyos o pequeños ríos, o su almacenamiento inseguro, genera por oxidación ácido sulfúrico y hierro en solución, con la consecuente disminución del pH, creando condiciones para la lixiviación de otros metales pesados (Fe, As, Sb, Zn, Cd, etc.), que son claramente detectables en los ríos" (Wotruba, 2000). Estas pérdidas son varias veces mayores a las ocasionadas por la quema de amalgama al aire libre. Otras fuentes de emisión de mercurio resultan del almacenamiento inseguro de las colas de amalgamación.



Depósitos de colas del procesamiento de minerales auríferos en la zona de Iroco. En la parte izquierda se puede observar el "pit" del proyecto Kory Chaca de EMIRSA. Fotografía: Google Earth.

2. Aspectos medioambientales

El Plan de Acción Ambiental del Departamento de Oruro (PAADO) menciona que la degradación de los lagos sucede debido a la contaminación de los ríos por actividades mineras por el Drenaje Ácido de Roca (DAR) y el Drenaje Ácido de Mina (DAM), que tiene directa relación con la pérdida del suelo. Adicionalmente, la degradación de los cuerpos de agua tiene efecto directo en la pérdida de la biodiversidad de la cuenca. El PAADO identificó problemas puntuales, como la disminución de la pesca, la presencia de liebres y deforestación, lo que repercute en la presencia de plagas, como el botón de oro.

El diagnóstico ambiental del departamento de Oruro menciona que las poblaciones circunscritas al área de operaciones de las industrias, empresas mineras y actualmente las cooperativas han

manifestado una serie de denuncias sobre la contaminación por residuos sólidos mineros y afluentes tóxicos. La constante degradación de los recursos renovables y no renovables ha originado la progresiva deforestación de la flora y depredación de la fauna silvestre.

En el libro publicado por el PIEB *Cooperativas mineras: dinamitas y contaminantes* (Möeller et. al., 2002) se indica que la mortandad en el departamento de Oruro se debe principalmente a las enfermedades respiratorias y gastroenterológicas, esta ultima tiene relación con la calidad del agua, a lo que hay que agregar las condiciones de higiene, constituyéndose éstos en los principales problemas ambientales (sub cuenca Huanuni, subcuenca Santa Fe y subcuenca Poopó). La depredación del medio ambiente tiene como víctima al ser humano, así como a la propia naturaleza. La exposición de las personas a metales tóxicos por la ingestión de agua, aire o a través del consumo de alimentos constituye la mayor amenaza originada directamente de las actividades mineras, pero la ausencia de investigaciones toxicológicas y estadísticas dificultan cualquier evaluación definitiva. La población de los centros mineros se ve afectada por la intoxicación de metales provenientes de la actividad minera y a esto se suma la mala nutrición en las áreas rurales comprobada por el incremento de desnutrición por ser las poblaciones más vulnerables como consecuencia de las influencias tóxicas ambientales.

Según CORIDUP (2007), en Oruro se han identificado alrededor de 300 minas en actividad, que incluyen la minería grande, mediana y cooperativizada, ubicadas predominantemente en cuatro zonas: Sora Sora, donde está la mina Huanuni; San José, en el caso de Oruro; Inti Raymi, en Kori Kollo; y Kory Chaca, en Iroco. La minería produce dos tipos de impactos ambientales: una es la generación de aguas ácidas a consecuencia del bombeo de agua de interior mina al exterior, que va sin ningún tipo de tratamiento directamente a los ríos más cercanos que desembocan en el lago Poopó. Otro de los impactos de la minería son los residuos mineros que se extraen del subsuelo, estos se van acumulando hasta convertirse en desmontes y posteriormente en pasivos ambientales. Los residuos mineros causan efectos ambientales indefinidos en el tiempo, como la generación de aguas ácidas que están cargadas de metales pesados tóxicos como plomo, plata, cobre, cadmio y otros, que no sólo causan daño a los

ríos, plantas y animales sino que también generan problemas a la economía de los pobladores.

Según BIOTA (2005), los lagos Poopó y Uru Uru y el curso inferior del río Desaguadero presentan problemas ambientales, como la degradación de los recursos hídricos, en particular por la contaminación química causada por la minería y la industria metalúrgica y hace algunos años por la contaminación a causa de un derrame de petróleo, además tienen altas concentraciones de metales pesados, por encima de los límites permisibles para el consumo humano, los que también fueron encontrados en peces (Beveridge, 1985). Existe contaminación orgánica y bacteriológica por las aguas residuales y desechos urbanos provenientes de la ciudad de Oruro en el lago Uru Uru y de otras localidades aledañas (Poopó, Challapata y Huari) que vierten sus aguas hacia el lago Poopó. A pesar de que los sedimentos de fondo de los lagos están altamente contaminados, existe una vasta comunidad biológica de macrófitos[9] y fitoplancton[10], fauna béntica, piscícola y avifauna (Van Ryckeghem, 1997).Actualmente, estos humedales carecen de protección y están amenazados parcialmente por la modificación del curso de sus afluentes, la contaminación y el uso intensivo de sus recursos.

El Proyecto CAMINAR (2008) identificó tres fuentes de contaminación en la cuenca del lago Poopó: una contaminación orgánica y bacteriológica proveniente de las aguas residuales de los centros urbanos, otra por actividad minera que contamina con metales pesados (plomo, estaño, plata, oro, hierro, zinc y otros) y la tercera contaminación natural debido a procesos de salinización por la elevada concentración de cloruro y sulfato de sodio.

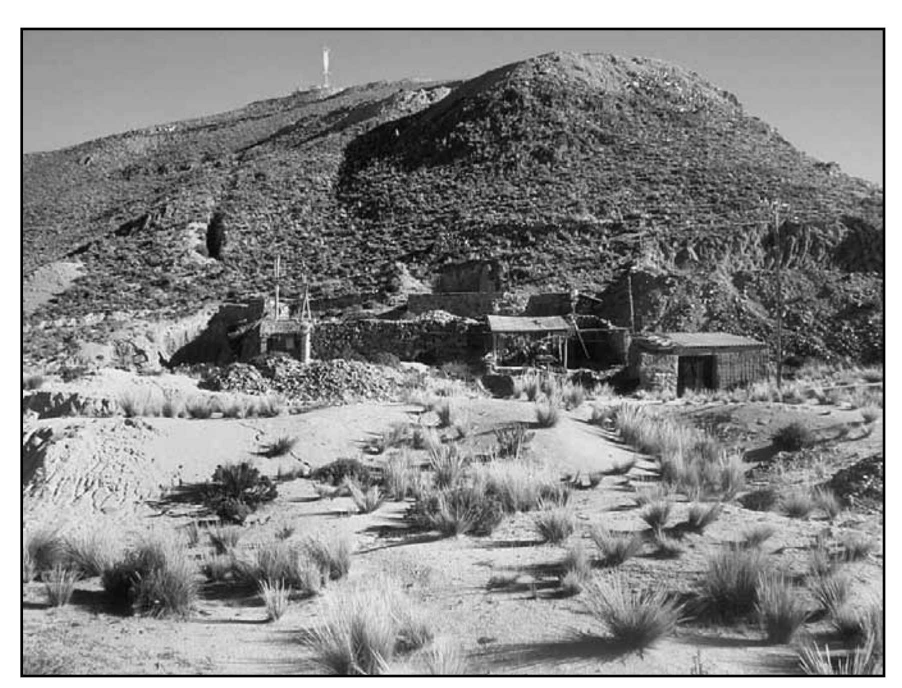
La evaluación en el trabajo de campo consistió en la observación directa de la situación actual ambiental, como la descripción de la flora y fauna predominante, identificación de impactos ambientales negativos que afectan a los componentes abióticos (aire, agua

9 Plantas acuáticas que crecen en la zona litoral de los lagos o estanques.

10 Plancton marino o de agua dulce, formado por organismos vegetales que flotan en el agua como algas y fitoflagelados, que constituyen el productor primario.

y suelo) y bióticos (flora, fauna y hombre) en las diferentes operaciones mineras auríferas del departamento de Oruro, además de la evaluación de la calidad del agua a través de la medición de pH, antes y después de su uso en las operaciones mineras. También se realizó una descripción de la presencia de residuos sólidos (basura) generados por las actividades mineras.

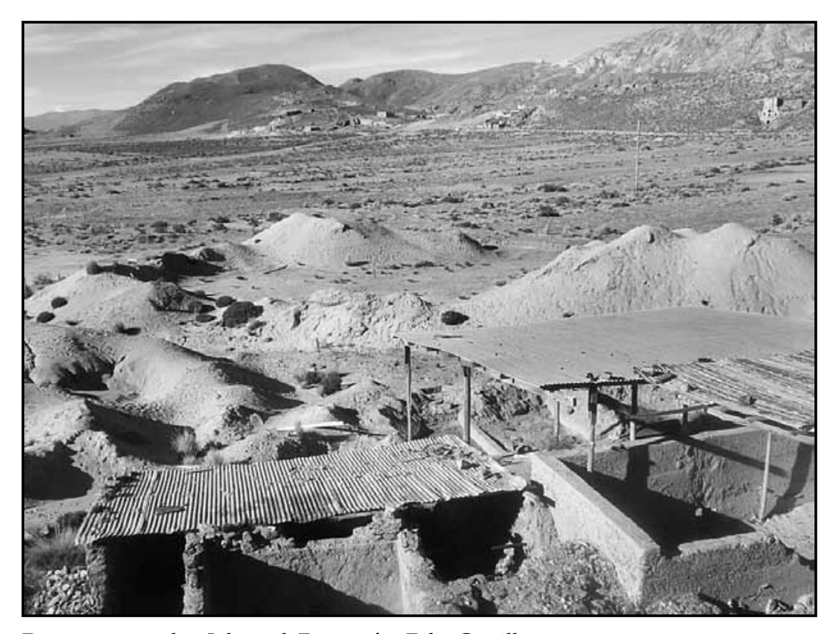
Se visitaron las diferentes operaciones mineras auríferas incluidas en el área prioritaria de investigación. Algunas se hallan momentáneamente paralizadas por falta de asistencia técnica, la época seca y falta de recursos económicos. Se observan pasivos ambientales como desmontes y colas. No obstante, otras se encuentran en procesos de exploración y el consiguiente inicio de actividades mineras.



Desmontes y colas, San Francisco de California. Fotografía: Félix Carrillo.



Estanque para captar agua de lluvia y su posterior uso en el proceso, San Francisco de California. Fotografía: Félix Carrillo.



Desmontes y colas, Libertad. Fotografía: Félix Carrillo.



Área de trabajo de la Cooperativa 10 de Febrero, Iroco. Fotografía: Félix Carrillo.



Área de trabajo de la operación minera, Santa Elena. Fotografía: Félix Carrillo.

2.1. Diagnóstico ambiental

Las actividades mineras auríferas del departamento de Oruro se hallan localizadas en la región ecológica del altiplano, se menciona la flora y fauna predominante en las zonas visitadas, cuyas formaciones vegetales se caracterizan por la predominancia de pajonales de *iru ichu*, *tholares*, vegetación salina y matorrales-pajonales, los cuales se describen a continuación.

La formación vegetal de pajonales donde predomina la especie *Festuca orthophylla*, conocida como *iruichu*, se encuentra en su mayoría en planicies, además existen otras especies acompañantes como: *Erodium cicutarum*, *Lachemilla pinnata* (indicadora de alteración de ecosistemas), *Distichlis humilis*, *Lupinus altimontanus*, *Junellia mínima*, *Baccharis santelicis*, *Opuntia boliviana* y *Hoffmannsegia minor*. Dicha formación se halla en un estado de conservación que varía de moderado a malo debido a las frecuentes quemas y el sobrepastoreo que no permiten su óptimo desarrollo vegetal.



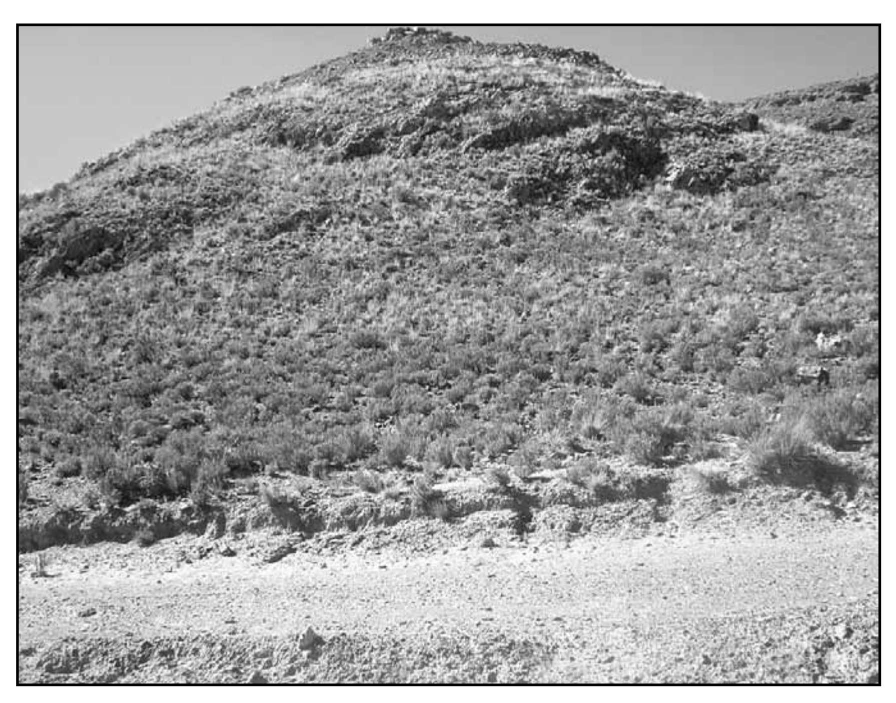
Pajonales de Iru Ichu. Unificada. Fotografía: Félix Carrillo.

La presencia de formaciones vegetales de *tholares* próximos a las actividades mineras están localizadas en laderas y se caracterizan por la presencia de los arbustos siempreverdes como: *Baccharis santelicis, B. boliviensis, Parastrephia lepidophylla, Parastrephia lucida*. También se presencian algunas especies acompañantes como: *Stipa ichu, Opuntia boliviana* y *Opuntia soehrensii*. Se observa que los *tholares* presentan un estado de conservación de moderado a malo por ser utilizados como leña.



Tholares localizados en laderas, San Francisco de California. Fotografía: Félix Carrillo.

La formación vegetal mixta de matorrales-pajonales se encuentra en laderas, caracterizándose por la combinación de *tholas* con pajonales. Entre las *tholas* siempreverdes destacan los arbustos *Baccharis santelicis, B. boliviensis, Parastrephia lepidophylla, P. lucida* y entre las gramíneas (pajonales) *Stipa ichu, Festuca orthophylla* y *Distichlis humilis*. Existen también otras especies acompañantes como: *Tetraglochin cristatum* (indicadora de sobrepastoreo),*Opuntia boliviana, Opuntia soehrensii, Lobivia sp*. y *Astragalus garbancillo*. Lamentablemente esta formación vegetal no se halla en buen estado de conservación, en el caso de los pajonales debido a su uso en el pastoreo.



Formación vegetal mixta de matorrales-pajonales, Huayna Potosí. Fotografía: Félix Carrillo.

La zona minera aurífera presenta también vegetación salina, formación vegetal localizada en planicies que se destacan principalmente por la presencia de especies adaptadas a suelos salinos. Entre las especies presentes están: *Sarcocornia pulvinata, Frankenia triandra, Atriplex sp*., *Suaeda foliosa* (*cauchi*) e *Hymenoxys robusta* (botón de oro), ésta última es una planta tóxica que causa pérdidas económicas al ganadero por la mortalidad que provoca al ganado ovino y camélido. El *cauchi* es una planta que aparece en suelos contaminados con aportes de nutrientes cercanos a las poblaciones, a los bordes de caminos o donde existe presencia permanente del ganado.

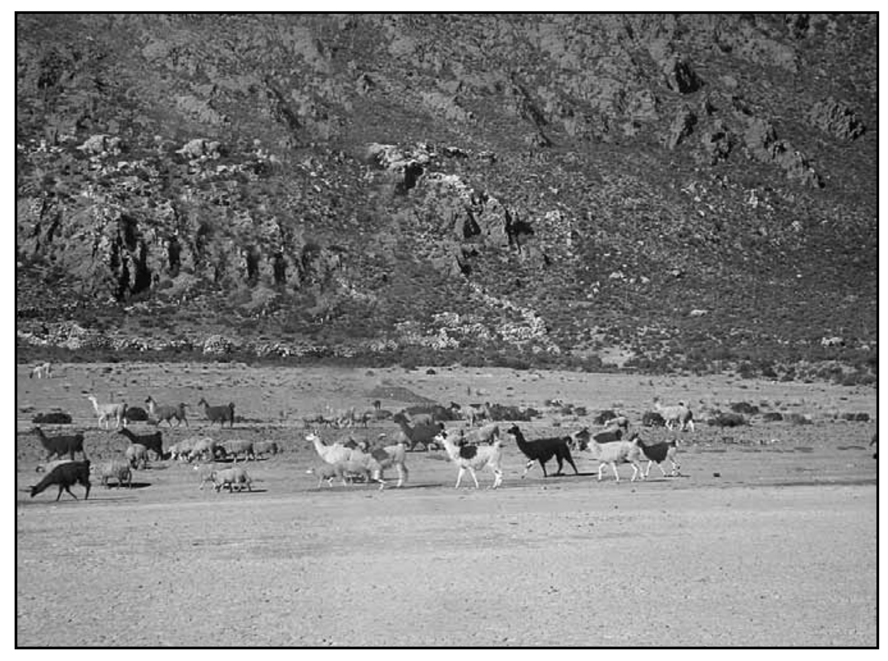


Vegetación presente en suelos salinos, 10 de Febrero, Iroco. Fotografía: Félix Carrillo.

Se observó también actividad agrícola cerca de las operaciones mineras auríferas caracterizada por los cultivos de papa (*Solanum andigenum*), alfalfa (*Medicago sativa*), quinua (*Chenopodium quinoa*) y cebada (*Hordeum vulgare*).

En lo referente a la fauna silvestre presente en las zonas de actividad minera aurífera se puede mencionar a los anfibios como el sapo (*Bufo spinulosus*) y la rana (*Pleurodema sp.*), que en estos últimos años han disminuido su cantidad. Entre los reptiles, las lagartijas (*Liolaemus sp.*) y serpientes (*Tachymenisperuviana*). Entre las aves terrestres se observaron yaca yacas (*Colaptes rupícola*), leke lekes (*Vanellus resplendens*), palomas (*Metriopelia sp.*) águilas (*Buteo sp.*), halcón Marías (*Phalcoboenus megalopterus*), distintos pájaros como la pichitanka (*Zonotrichia capensis*) y *Geositta punensis*. Se observó aves acuáticas en las represas de agua de la operación minera Inti Raymi de Kori Chaca como flamencos (*Phoenicopterus sp.*), patos de la puna (*Anas puna*), patos reales (*Anas specularioides*), *Anasflavirostris*, chokas (*Fulica ardesiaca*) y gaviotas (*Larrus serranus*). Entre los mamíferos

que se encuentran se puede mencionar el zorro andino (*Pseudalopex culpaeus*) y el zorrino (*Conepatus chinga rex*). La fauna domesticada se caracteriza por la presencia de camélidos como llamas y en menor cantidad ovinos.



Ganado camélido, Huayna Potosí. Fotografía: Félix Carrillo.

2.2. Impactos ambientales

Los impactos ambientales actuales generados por las operaciones mineras auríferas en el departamento de Oruro son las siguientes:

Ambiente físico

Las actividades mineras auríferas generan impactos negativos debido al cambio en la topografía por la modificación del paisaje local.

Aire

En los diversos procesos de extracción y concentración del oro se producen desmontes y colas que emiten partículas de polvo que

contaminan el aire. Por otra parte, las actividades de explosión en interior mina genera la contaminación de aire debido a la producción de gases. La utilización del mercurio y su quemado en la amalgama con oro afecta la calidad del aire debido a su volatilización, y de acuerdo a su ciclo el mercurio daña la salud humana, vida vegetal y animal.

Suelo

El vertido de aguas residuales y su infiltración al suelo causa la contaminación a este componente, siendo integrante de los ecosistemas terrestres éstos también se ven afectados. La accesibilidad a las operaciones mineras por la apertura de caminos produce la compactación de los suelos y por lo tanto pérdida de áreas de pastoreo o cultivo.

Agua

El uso de mercurio en las operaciones mineras auríferas contamina los cuerpos de agua subterráneos o superficiales, disminuyendo así su calidad para consumo de la fauna doméstica y silvestre. El mercurio por mecanismos de metilización, es decir como metil mercurio, es asimilado por los peces, ingresando así a la cadena trófica y acumulándose de un organismo a otro; este proceso es conocido como biomagnificación.

El inadecuado uso y derrame de hidrocarburos en los ingenios y almacenamientos de las operaciones mineras producen infiltraciones a las aguas subterráneas y por lo tanto su contaminación.

Calidad del agua

En lo concerniente a la calidad del agua, la mayoría de las operaciones mineras auríferas presentan valores de pH que oscilan entre 6 y 7, es decir casi ligeramente de ácido a neutro, tanto a la entrada como a la salida del proceso.

Flora

Las actividades mineras originan impactos ambientales en la flora y fauna y por lo tanto el desequilibrio en los ecosistemas. Los impactos

ambientales que se tienen son la pérdida de cobertura vegetal, pérdida de zonas de pastoreo para ganado camélido, sobre todo de llamas.

La actividad agrícola de los cultivos de papa, cebada, quinua y alfalfa son afectados por su proximidad a las operaciones mineras.

Fauna

La generación de ruido en las operaciones mineras produce la migración de la fauna silvestre. También se da la alteración de la población de fauna acuática y terrestre por el consumo de aguas contaminadas. Además de la destrucción de hábitat de la fauna silvestre por la modificación del paisaje.

Residuos sólidos

Además de los impactos ambientales ocasionados por las operaciones mineras, se tiene la generación de residuos sólidos o basura y su inadecuada disposición final cerca de las mismas actividades mineras sin ningún manejo adecuado por falta de información y conciencia ambiental. Es latente el desconocimiento de los impactos ocasionados al medio ambiente, sobre todo por residuos sólidos no biodegradables como latas, botellas, pilas y muchos otros.



Presencia de residuos sólidos (basura). Fotografía: Félix Carrillo.

3. Soluciones

Tabla 2
Emisiones, causas y soluciones en la pequeña minería aurífera primaria

EMISIONES	CAUSAS	SOLUCIONES
Mercurio	Usos de Hg en circuitos de flujo abierto.	Eliminación de la práctica de sistemas combinados de molienda-amalgamación y de planchas amalgamadoras a través del mejoramiento de los métodos de concentración gravimétrica.
	Quema de amalgama al aire libre.	Uso de retorta.
	Almacenamiento inseguro de colas de amalgamación.	Construcción de depósitos de colas seguros.
Sulfuros	Uso de sistemas inapropiados de concentración gravimétrica.	Mejoramiento de los métodos tradicionales de concentración gravimétrica.
Sólidos gruesos y finos	Falta de almacenamiento apropiado de colas y tratamiento de aguas.	Construcción de diques de colas y sistemas de tratamiento de aguas turbias, sedimentadotes, relleno de pozos explotados.
Efluentes de aguas ácidas	Oxidación de sulfuros.	Recuperación de sulfuros.
Metales pesados	Procesos de lixiviación en la mina y los depósitos de colas.	Recuperación de sulfuros, plantas de precipitación, lagunas artificiales con biomasa adsorbente.

Fuente: MEDMIN.

Muchas veces, por la situación económica crítica de la mayoría de las operaciones del sector de la pequeña minería aurífera, es comprensible que el interés primario de los mineros no esté orientado al mejoramiento de las condiciones ambientales de sus operaciones. En este sentido, el control y la fiscalización por parte de las autoridades competentes requiere ser fortalecida ya que se encuentra en plena vigencia la Ley del Medio Ambiente y sus regulaciones correspondientes. Para cambiar las técnicas actuales de trabajo y hacerlas ambientalmente sanas, es necesario ofrecer a los mineros un "paquete completo" de asistencia técnica, orientado a sus necesidades específicas, como el mejoramiento de la producción y las condiciones de seguridad industrial, complementado con medidas ambientales. Se debe buscar las tecnologías no solamente ambientalmente limpias y económicamente apropiadas, sino que formen parte de la cultura de la pequeña minería en base de los siguientes criterios:

Criterios técnico-económicos

- La nueva tecnología debe ser "técnicamente eficiente" (más que los métodos tradicionales).
- El equipo, en lo posible, requiere ser fabricado o construido localmente y tener un largo tiempo de vida útil.
- El equipo debe ser simple en su uso y mantenimiento, seguro en su manejo (no requerir personal calificado).
- El nuevo equipo debe integrarse fácilmente al proceso existente, tener bajos costos de inversión y mantenimiento y ser compatible con las máquinas o equipos existentes.

Criterios medioambientales

- Este equipo debe tener bajo impacto en el medio ambiente y permitir un mejor aprovechamiento de los recursos no renovables.
- El nuevo proceso debe ayudar a cumplir con las regulaciones medioambientales.
- En lo posible ayudar a producir más contaminando menos.
- Contribuir a reducir los conflictos con los vecinos (por ejemplo campesinos).
- No debe constituirse en una "bomba de tiempo medioambiental".

Criterios sociales y culturales

- La nueva tecnología debe ser probada y aprobada juntamente con los mineros.
- El nuevo proceso no debe requerir de cambios sustanciales en la organización existente entre los mineros.
- El nuevo proceso no debe interferir con la religión, hábitos y supersticiones de los mineros.

– El nuevo proceso no debe crear problemas en la venta del producto final.
– El nuevo proceso no debe causar problemas entre los mineros y otros actores (propietarios de concesiones, compradores de oro, proveedores de insumos y equipos, etc.).

Actualmente, existen una serie de alternativas para reemplazar la amalgamación de los concentrados auríferos:

a) Fundición directa.
b) Lixiviación con cianuro.
c) Lixiviación con otros reactivos (cloruro, bromuro, thiourea, etc.).
d) Aglomeración oro/aceite.

Sin embargo, estos procesos tienen la dificultad de su implementación en la minería a pequeña escala debido a:

– Necesidad de concentrados altamente enriquecidos (a, d).
– Técnicamente complejos (c, d).
– Altos costos (c, d).
– Problemas de salubridad, seguridad y medioambientales (b, c, d).
– Procesos lentos (b, c).
– Tamaño de grano del oro y minerales acompañantes (b, c, d).

Por lo tanto, si por el momento no es posible eliminar la amalgamación en la pequeña minería, esta debe ser:

– Controlada.
– Optimizada.
– Restringida a la amalgamación de concentrados.

Tabla 3
Comparación esquematizada de procesos con y sin amalgamación

Proceso de amalgamación tradicional	Proceso de gravimétrico optimizado	Proceso sólo de concentración gravimétrica
Trituración y molienda	Trituración y molienda	Trituración y molienda
↓	Pre-concentración	Pre-concentración
Concentración	Concentración secundaria	Concentración secundaria
Refinación del concentrado	Refinación del concentrado	Refinación del concentrado
Características:	**Características:**	**Características:**
Uso indiscriminado de la amalgamación (en circuito abierto); uso de métodos gravimétricos insuficientes; quema de amalgama al aire libre.	Uso de la amalgamación solamente para concenrtrados gravimétricos (en circuito cerrado) dentro de un proceso gravimétrico optimizado; uso de retortas.	Sin amalgamación; proceso en su totalidad gravimétrico; proceso final, p. ej. mediante fundición directa de los concentrados.
Resultados:	**Resultados:**	**Resultados:**
Emisiones de mercurio extremadamente altas (relación mercurio perdido: oro recuperado hasta 10: 1); recuperación de oro relativamente baja.	Emisiones bajas de mercurio (relación mercurio perdido en las colas de amalgamación: oro recuperado hasta 0,01:1); recuperación de oro alta.	Ninguna emisión de mercurio; manejo relativamente complicado, requiere equipamiento gravimétrico sofisticado; recuperación de oro alta.

Leyenda: **Proceso con mercurio** (recuadro sombreado) — **Proceso sin mercurio** (recuadro blanco)

Fuente: MEDMIN.

Posibilidades para minimizar las emisiones de mercurio

- Mejorar el manejo en general (transporte, almacenamiento, etc.).
- Eliminar totalmente su uso para minerales en bruto.
- Optimizar la amalgamación de concentrados.
- Recuperar todo el mercurio de la amalgama.
- Limpieza y disposición apropiada de colas de amalgamación.

Si las emisiones de mercurio ocurren principalmente por su uso en circuito abierto o por el quemado de la amalgama al aire libre, el camino más efectivo para reducir estas emisiones es mejorar la concentración gravitacional, porque:

- No necesita de reactivos.
- Bajos costos de inversión (excepción: centrífugas, espirales, mesas concentradoras).
- Disponibilidad de gran variedad de tipos y tamaños de máquinas.
- Se pueden recuperar otros minerales como subproductos (sulfuros, casiterita, etc.).
- El agua de proceso puede ser reciclada después de remover los sólidos.

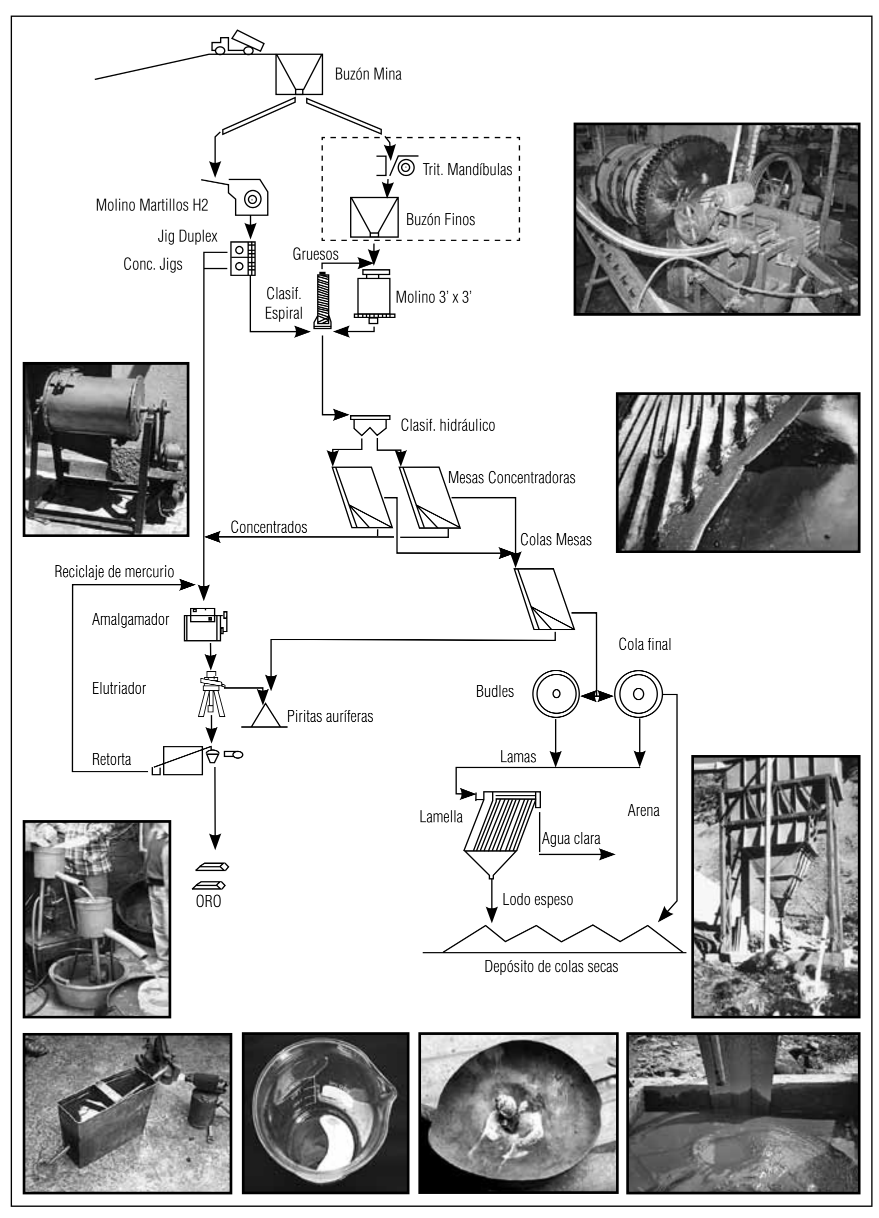
4. Técnicas mejoradas

Los métodos y equipos que se presentan a continuación se probaron con los mineros en varias otras regiones del país en la práctica productiva diaria. Al mismo tiempo se fabricaron en serie los equipos probados, recurriendo a talleres de metalmecánica locales, realizándose un seguimiento y control permanente de los parámetros técnicos de diseño para su aplicación en numerosas operaciones antiguas y otras nuevas. Simultáneamente se continuó con los trabajos de investigación para resolver problemas técnicos

aún existentes. La introducción y divulgación de tecnologías limpias fueron complementadas con la realización de cursos y talleres para los mineros, videos de enseñanza, guías técnicas, etc., donde se hace énfasis en la supresión del uso de mercurio en procesos de flujo abierto por ser el problema ambiental más crítico y en la recuperación de los sulfuros acompañantes. Se optimizaron diferentes esquemas técnicos (flujogramas) de concentración gravimétrica para lograr una buena recuperación de oro sin recurrir al proceso combinado de molienda-amalgamación. Fue mejorada la tradicional canaleta, como también el uso de mesas concentradoras, jigs y espirales concentradores, que ya habían sido empleados en muchas plantas de procesamiento de minerales de estaño.

Estas mejoras pueden adecuarse fácilmente a las características de los minerales auríferos existentes en el departamento de Oruro. El punto de partida para el trabajo con los sistemas de concentración gravimétrica es la baja recuperación que se obtiene con los métodos tradicionales, además de la reducción del alto consumo de mercurio, que representa no solamente pérdida económica sino también problemas de provisión de este insumo. Actualmente, la mayoría de los mineros están abiertos al cambio y mejora de sus sistemas de trabajo y a la introducción de técnicas limpias al saber que esto les reportará una mayor recuperación (utilidad) a menor costo de operación. Los equipos pequeños (tambor amalgamador, separadores hidráulicos en contracorriente para la separación de amalgama y sulfuros, retortas para la destilación de mercurio), completan los métodos de procesamiento promovidos por el proyecto.

Flujograma 4
Proceso piloto completo, manejo de mercurio en circuito cerrado, recuperación de sulfuros auríferos y tratamiento de aguas turbias a través de tecnologías limpias



Fuente: Elaboración propia.

Flujograma 5
Proceso mejorado con manejo de mercurio en circuito cerrado

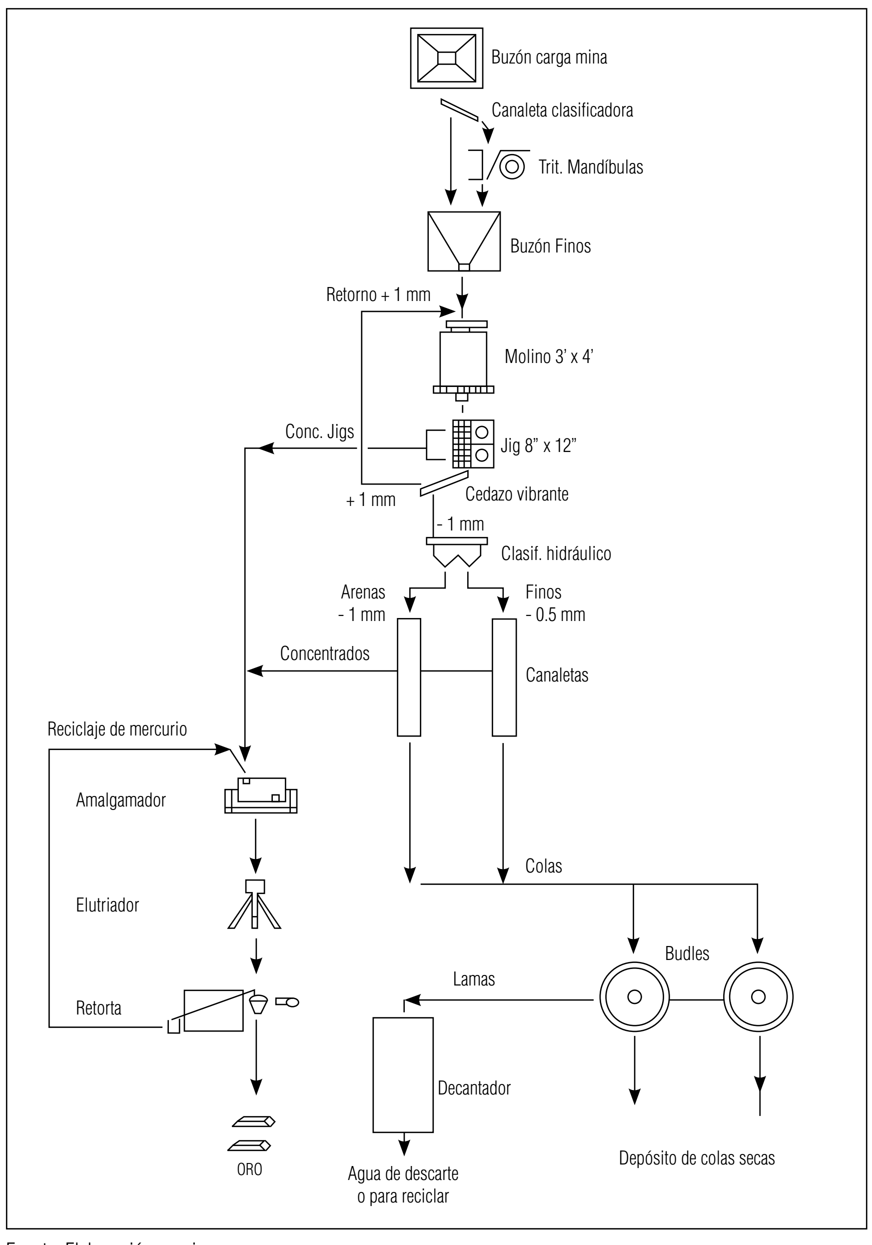
Fuente: Elaboración propia.

Flujograma 6
Proceso mejorado, Cooperativa Libertad

Trit. Mandíbulas
Extracción de la Mina por Rampa
Buzón Finos
Oro grueso
Molino
+ 2 mm
- 2,0 mm
- 1,0 mm
- 0,5 mm
Concentrado
Preoncentrados
Canaletas Alfombradas
Reciclaje de mercurio
Canaleta
Amalgamación en Batea
Depósito de Mixtos
Colas
Retorta
Lamas
Estanques de retención de arenas
Decantador
ORO
Depósito de colas secas
Agua Tratada
Laguna de tratamiento con Totoras

Fuente: Elaboración propia.

Flujograma 7
Proceso con manejo de mercurio en circuito cerrado, canaletas mejoradas y manejo de aguas residuales



Fuente: Elaboración propia.

Flujograma 8
Proceso con canaletas optimizadas

Grizzly (2' x 4')
+ 4"
Descarte
4"
1"
+ 1"
Descarte
1/4"
Clasificador vibratorio
duplex (2' x 4')
- 4" + 1/4"
- 1/4"
- 150 # Descarte
Clasificador hidráulico
Canaleta
con rifles
transversales
- 1/4" + 28 #
Jig 8" x 12"
- 28 + 150 #
Colas
Mesa lamera Nº 6
Colas
Colas
Preconcentrado
Amalgamador
Recirculación
de
mercurio
Elutriador
Sulfuros
Auríferos
(para la venta)
Retorta
Mercurio
Oro

Fuente: Elaboración propia.

Flujograma 9
Proceso mejorado con implementación de clarificador de aguas

Buzón Mina
Trit. Mandíbulas
Buzón Finos
Molino
Concentrado
Jig Duplex
Cedazo vibrate
Retorno + 1mm
-1mm
Espiral Reichert
Concentrado
Reciclaje de mercurio
Canaletas gemelas alfombradas
Amalgamador
Conc. Canaletas
3m Nomad
3m Cabello de Negro
Sulfuros auríferos
Elutriador
Cola final
Arrastre esperanza
Lamas
Floculante + Cal
Arena
Retorta
Espesador “Lamella”
Agua clara al río o para recirculación
Lodo espeso
ORO
Depósito de colas secas

Fuente: Elaboración propia.

Flujograma 10
Proceso mejorado con aplicación de tecnologías limpias

Buzón Mina
Trit. Mandíbulas
Molino Martillos H2
Buzón Finos
Conc. Jigs
Jig Duplex
Molino 3' x 3'
Reciclaje de mercurio
Amalgamador
Espiral Reichert
Scavenger
Elutriador
Piritas auríferas
Piritas auríferas
Cola final
Retorta
Lamas
Budles
Fundición
Decantador
ORO
Depósito de colas secas
Agua decantada
al río

REFERENCIAS

ALTERNATIVA Nº 1
ALTERNATIVA Nº 2
COMUN A AMBAS ALTERNATIVAS

Fuente: Elaboración propia.

5. Implementación de tecnologías limpias

Para los problemas técnico-ambientales del sector de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro existen soluciones que se pueden implementar directamente de acuerdo a las características de cada operación. No es necesario estudiar nuevas tecnologías. Con toda la información técnica sobre procesos, máquinas y métodos desarrollados hasta hoy se puede dar solución a los múltiples problemas que se pudieron detectar.

Con una inversión mínima, muchas de estas operaciones mineras pueden mejorar considerablemente su capacidad de producción, mecanizando los sistemas de tratamiento introduciendo equipos técnicamente eficientes, baratos y ambientalmente adecuados. Una ventaja es que todas las minas en el área del proyecto trabajan yacimientos similares, con tecnología, organización y tamaño de operaciones iguales o muy parecidas, con impactos ambientales análogos.

El tipo de trabajo que realizan los cooperativistas mineros en la zona es completamente manual, y en éste se emplean herramientas antiguas como el quimbalete de piedra o "toloca". Excepcionalmente se utiliza maquinaria, pero no en la forma ni condiciones adecuadas, siendo por ello deficientes las tareas de explotación y peor aún las labores de beneficio.

Remitiendo los datos de los precios de maquinaria actualmente vigentes en el mercado local y nacional de la Tabla 4 a los requerimientos de las diferentes alternativas de la Tabla 5, se puede, en forma rápida y sencilla, determinar el costo aproximado de cualquier planta de beneficio de minerales auríferos para cualquier operación de la zona.

Tabla 4
Lista de precios vigentes de maquinaria en el mercado nacional para las operaciones mineras auríferas del sector de la pequeña minería
(2009)

ITEM	MAQUINARIA	Cap. Aprox. (t/h)	Precio $us
1	Trituradora de mandíbulas 8" x 10"	2 - 4	3000
2	Molino a bolas 2'' x 3''	0.3	7000
3	Molino a bolas 3" x 4"	0.6	12000
4	Molino a martillos H2, tipo Hidrojet	1 - 2	1500
5	Juego de 2 martillos (duración 6 toneladas)		30
6	Jig Denver Duplex 8" x 12"	1 - 1.5	1800
7	Clasificación de espiral tipo Akins 24"	1 - 1.5	1800
8	Clasificador hidráulico tipo Denver 3 compart.	1 - 1.5	1000
9	Mesa Concentradora Deister Nº 6	0.5 - 0.7	6000
10	Espiral Concentrador Reichert LG7	2 - 3	1500
11	Tambor amalgamador	0.05	1200
12	Elutriador (separador hidráulico de amalgama)	0.1	350
13	Retorta completa con quemador cap. 200 g.		100
14	Alfombra NOMAD 3M de USA		50 $us/m2
15	Alfombra MULTIOURO SOMMER de Brasil		40 $us/m2
16	Clarificador-espesador de placas “Lamella”	26	6000
17	Arrastre esperanza	1 - 2	1000
18	Motor 6 cilindros (Diesel)		1500
19	Eje con poleas de transmisión		1000
20	Perdigones de acero para jig (20 kg.)		400
21	Activador de mercurio		50

Fuente: Proyecto Tecnologías Limpias y MEDMIN.

Tabla 5
Requerimiento de maquinaria para diferentes tipos de sistemas incluidas las tecnologías limpias y costos aproximados

ITEM	DESCRIPCIÓN	ALTERNATIVA									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Trituradora de mandíbulas 8" x 10"			3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000
2	Molino a bolas 2" x 3"								7.000	7.000	
3	Molino a bolas 3" x 4"			12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	
4	Molino a martillos H2	1.500	1.500								
5	Juego de 2 martillos (durac. 6 toneladas)	30	30								
6	Jig Denver Duplex 8" x 12"				1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
7	Clasificación de espiral tipo Akins 24"								1.800	1.800	1.800
8	Clasificador hidráulico Denver	1.000			1.000	1.000		1.000	1.000	1.000	
9	Mesa Concentradora Nº 6							12.000	12.000	18.000	
10	Espiral Concentrador Reichert LG7		1.500				1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
11	Tambor amalgamador	1.200	1.200		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
12	Elutriador	350	350		350	350	350	350	350	350	350
13	Retorta	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	Lamella									6.000	6.000
15	Alfombras (m2 Nomad)	300	200	400	300	200	200				250
16	Eje con poleas de transmisión		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			1.000
17	Motor a diesel	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500			1.500
18	Grupo electrógeno								20.000	20.000	20.000
	Total	5.980	7.380	18.000	22.250	22.150	19.650	35.450	61.750	73.750	38.500

Fuente: Cotizaciones obtenidas por el proyecto en talleres especializados.

Tabla 6
Inversiones y rendimiento en operaciones de la pequeña minería clasificadas de acuerdo al grado de mecanización

Grado de mecanización tipo de planta	Equipo	Personal requerido	Inversión $us.	Rendimiento
Mina no mecanizada proceso manual	Combo Barretilla Marillo Toloca Canaleta Chua o batea	al menos 1	200	20-50 kg/d x hombre (10 h/d)
Mina semi mecanizada proceso manual II	Compresora Perforadora neumática Carretillas Quimbalete Canaleta Chua o batea	5 a 10	30000 - 40000	2-5 t/d (24 (h/d)
Mina semi mecanizada planta semi mecanizada	Compresora Perforadora neumática Carretilla Trituradora con motor Molino con motor Canaleta Chua o batea	10 a 20	60000 - 70000	5-10 t/d (24 h/d)
Mina semi mecanizada planta mecanizada	Compresora Perforadora neumática Rieles y carros metaleros Generador eléctrico Triturador con motor Molino a bolas 3' x 4' Clasificador hidraúlico Mesas concentradoras Tambor amalgamador Chua o batea	30 - 40	100000 - 120000	15 - 20 t/d (24 h/d)
Mina mecanizada planta mecanizada	Compresora Perforadora neumática Rieles, carros y locomotora Generador eléctrico Trituradora con motor Molino a bolas 4' x 6' Molienda en circuito con Akins Jigs Clasificador hidraúlico Mesas concentradoras Tambor amalgamador Chua o batea	80 - 100	200000	50 - 60 t/d (24 h/d)
Planta concentración gravimétrica	Generador eléctrico Trituradora con motor Molino a bolas 3' x 4' Clasificador hidraúlico Mesas concentradoras Tambor amalgamador Chua o batea	10	60000	20 t/d (24 h/d)

Fuente: MEDMIN.

6. Difusión e implementación de soluciones técnico-ambientales

La difusión de las cualidades de las medidas técnico-ambientales a través del uso de tecnologías limpias en la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro es el punto clave del presente proyecto que tiene como objetivo la disminución de la contaminación ambiental. Un proyecto de este tipo será exitoso sólo si ha logrado mitigar sustancialmente los impactos ambientales, lo que se logra mediante la implementación y la difusión masiva de cambios tecnológicos. Ya se ha mencionado que el enfoque sólo en un determinado problema ambiental y su aislamiento de problemas colindantes es poco recomendable, puesto que se tiene que buscar soluciones integrales.

El proyecto enfoca su trabajo en el impacto más relevante del área, atacando un problema puntual: la mejora en la producción con sistemas de recuperación de oro más eficientes, donde las medidas técnico-ambientales sean más fáciles de implementar. Este último paso sirve para ganar confianza en el grupo meta, para luego atacar los problemas más graves. También, en algunos casos, es favorable encarar el problema con el conflicto potencial más grande (por ejemplo problemas entre mineros y agricultores por la contaminación de aguas). En este caso, no solamente existe gran interés de las autoridades por llegar a una solución, sino también una alta predisposición de los mineros a cambiar sus procesos para evitar problemas con sus vecinos agricultores.

Conclusiones

- El trabajo de campo, a través de toda el área prioritaria de investigación, constató la presencia de dos realidades muy diferentes: las operaciones de la compañía Inti Raymi, por un lado, y las operaciones mineras auríferas a pequeña escala, por el otro. Ambos extremos ofrecen los ejemplos más ilustrativos de las formas de explotación de oro en el departamento de Oruro.

- La pequeña minería aurífera en el departamento es distinta en sus características a la minería tradicional, porque se basa en la explotación de un producto cuyas cotizaciones en el último tiempo son realmente favorables y con un mercado siempre abierto. Esta realidad permite la formación, implementación y desarrollo de una serie de emprendimientos. Algunas de estas organizaciones alcanzan un grado relativamente elevado de consolidación.

- En general, las técnicas de procesamiento utilizadas por el sector de la pequeña minería aurífera primaria en el departamento muestran una gran variedad de técnicas individuales que dependen especialmente de la situación financiera de los mineros y de sus conocimientos tecnológicos.

- Los peligros de contaminación son muy elevados en dos etapas, cuando se evapora el mercurio y cuando el mercurio no recuperado pasa a formar parte del ciclo ecológico de la región. Estos últimos factores, más sus limitaciones respecto al tamaño de grano que se puede recuperar, han hecho que este método se emplee con preferencia. Otras fuentes de emisión

de mercurio resultan del almacenamiento inseguro de las colas de amalgamación. Las colas generalmente son desparramadas en áreas aledañas a las plantas de procesamiento o vaciadas a ríos próximos.

- Lamentablemente, se entiende que por el momento sólo en raras ocasiones se podrá reemplazar la amalgamación por otra técnica en las operaciones de la pequeña minería en el departamento, ya que ésta es y seguirá siendo el método más sencillo, rápido y efectivo para separar oro de otros minerales pesados que son recuperados en forma conjunta en un proceso gravimétrico. Sin embargo, la solución inmediata es restringir el uso de mercurio a la amalgamación de concentrados.

- Se debe facilitar asistencia técnica para la pequeña minería aurífera en Oruro, especialmente con relación al uso de tecnologías limpias más productivas y ambientales. Sin embargo, esta asistencia debe ser seleccionada y destinada a operaciones que sean económicamente viables, incluyendo los costos ambientales.

- Por las diferentes características de una operación minera (tipo de yacimiento, mineralización, tamaño, hidrografía, características socioeconómicas y culturales) no existe normalmente una solución técnica general. Hay que adoptar siempre una solución individual, tomando en cuenta los diferentes paquetes tecnológicos desarrollados.

- Con relación a lo técnico, es necesario primero adaptar y optimizar técnica y ambientalmente la tecnología sencilla ya existente antes de introducir equipos nuevos y sofisticados. Equipos producidos localmente a bajos precios con una eficiencia racional tienen las mejores posibilidades para su implementación y difusión. No es relevante buscar la perfección tecnológica, sino la tecnología con las más grandes posibilidades de aceptación y difusión.

- Antes de cualquier implementación técnica es necesario desarrollar un “ambiente de amistad y confianza” con los

mineros realizando campañas de sensibilización, información, educación y concientización por medios audiovisuales, afiches, folletos informativos, seminarios, talleres, etc.; siempre tomando en cuenta los temas de mayor interés de los propios mineros.

- Para implementar los cambios tecnológicos es necesario ejecutar un trabajo in situ con los mineros a través de técnicos e ingenieros bien entrenados.

- Es necesario desarrollar un concepto técnico-ambiental integrado; la implementación sólo de equipos individuales (retortas, centrífugas, etc.) no logra el éxito deseado.

- El buen funcionamiento de los equipos tiene que estar asegurado antes de su implementación en las operaciones mineras. Un fracaso puede rápidamente acabar con la confianza que fue lograda en mucho tiempo.

- Los cambios tecnológicos implementados requieren todavía de una supervisión intensiva y larga, además de un seguimiento para asegurar el uso sostenible.

- Es necesario aplicar un enfoque integral, considerando aspectos organizativos, sociales, económicos, legales, técnicos y ambientales.

- Los mineros deben pagar por su proyecto. En este sentido usar máquinas en las que han realizado una inversión, por lo tanto su cuidado está garantizado.

- Es necesario garantizar una alta participación de los mineros en los procesos de toma de decisiones.

- Una amplia difusión de cambios tecnológicos es lo más efectivo, y se puede lograr por medio de operaciones piloto que son implementadas exitosamente y sirven como multiplicadoras.

- Es importante garantizar ventajas sociales, económicas y ambientales para los mineros; estas opciones son una condición necesaria para el éxito.

- Es necesario demostrarle a los mineros que la protección ambiental y de la salud puede producir más beneficios que costos.

- Temas de salud y/o seguridad industrial son temas importantes para los mineros y deben estar en la agenda de cualquier proyecto relacionado a pequeña minería.

- Como el tema ambiental es conflictivo para los diferentes involucrados, siempre se debe tratar de buscar canales de entendimiento y mediar para lograr soluciones favorables.

- En general, se puede decir que la mitigación ambiental en la actividad minera es posible, pero se requiere de mucho esfuerzo y tiempo para obtener soluciones sostenibles.

Segunda parte

Propuesta de intervención

Propuesta de intervención

1. Antecedentes

Las diferentes políticas estatales fomentan preferentemente a la gran minería que explota yacimientos masivos con tecnologías avanzadas y grandes inversiones; este hecho es justificado por los beneficios superiores que conlleva esta forma de aprovechamiento de los recursos mineros. Por otro lado, en el país en general y en el departamento de Oruro en particular, existen muchas operaciones pequeñas que permanecen ignoradas, dedicadas a explotar minerales auríferos de yacimientos que no demuestran las características para ser trabajados por grandes empresas.

Es necesario tomar en cuenta muchos aspectos válidos y relevantes de la pequeña minería aurífera en el departamento:

- Se concentran en yacimientos que no son rentables para una minería a mayor escala.
- Constituyen un sector económico que revela una fuerte expansión espontánea y por lo tanto responden a una demanda social real.
- Ofrecen trabajo, ingresos y sustento a muchas familias, logrando distribuir ampliamente los beneficios obtenidos a partir de un recurso natural no renovable con un amplio mercado.

Toda la información generada por la primera fase del presente proyecto constituye la base de conocimientos que ha permitido

la elaboración de esta propuesta que muestra la necesidad de un enfoque integral, que incluya aspectos legales, socioeconómicos, técnicos y ambientales para una exitosa implementación de medidas ambientalmente limpias. Las tecnologías limpias son herramientas, métodos y prácticas necesarias para producir bienes y entregar servicios con menos impactos sobre el medio ambiente. Las denominadas tecnologías limpias son parte de la gestión ambiental que comprende dos tipos de actividades: las basadas en el *conocimiento de los problemas*, que constituyen toda la información obtenida en la etapa de investigación, y las orientadas a *solucionar estos problemas*, que forman parte de la propuesta de intervención del proyecto.

Para los problemas técnico-ambientales del sector de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro existen posibles soluciones que se pueden implementar directamente de acuerdo a las características de cada operación. No es necesario desarrollar nuevas tecnologías, con toda la información técnica sobre procesos, máquinas y métodos desarrollados hasta hoy se puede dar solución a los múltiples problemas que se pudieron detectar.

Con una inversión mínima, muchas de estas operaciones mineras pueden mejorar considerablemente su capacidad de producción, mecanizando los sistemas de tratamiento e introduciendo equipos técnicamente eficientes, baratos y ambientalmente adecuados. Una ventaja es que todas las minas en el área del proyecto trabajan yacimientos semejantes, con tecnología, organización y tamaño de operaciones muy parecidas, con impactos ambientales similares.

Muchas veces, por la situación económica crítica de la mayoría de las operaciones del sector de la pequeña minería aurífera, es comprensible que el interés primario de los mineros no esté orientado al mejoramiento de las condiciones ambientales de sus operaciones. En este sentido, el control y la fiscalización por parte de las autoridades competentes requiere ser fortalecida, porque se encuentra en plena vigencia la Ley del Medio Ambiente y sus regulaciones correspondientes. Para cambiar las técnicas actuales de trabajo y hacerlas ambientalmente sanas, es necesario ofrecer a los mineros un "paquete completo" de asistencia técnica, orientado a sus necesidades específicas, como el mejoramiento de la producción y las condiciones

de seguridad industrial, complementado con medidas ambientales. Se debe buscar las tecnologías no solamente ambientalmente limpias y económicamente apropiadas, sino que formen parte de la cultura de la pequeña minería.

Las soluciones a los problemas ambientales causados por procesos productivos (en este caso la pequeña minería) son casi siempre técnicos, pero el camino para su implementación debe ser integral, interdisciplinario y participativo (sobre todo en procesos productivos comunitarios como es el caso de la minería), al contrario de procesos participativos que individualmente no solucionan los problemas sino se disponen de soluciones técnicas.

Existen sistemas o métodos técnicos menos contaminantes de beneficio de minerales auríferos, pero ¿son económicamente viables en un contexto de economía de subsistencia? Hay mucho potencial para propuestas innovadoras, de tecnologías más productivas y a la vez menos contaminantes (tecnologías limpias), pero inevitablemente surge una vez más la pregunta: ¿las tecnologías limpias son rentables?

Finalmente, para lograr una mitigación sustancial de la contaminación ambiental en el campo técnico no se deben repetir los abundantes estudios sobre los impactos ambientales en el departamento de Oruro, sino que se debe proponer principalmente la implementación de las medidas técnicas apropiadas, determinando variables de tipo cualitativo y cuantitativo que permitan medir indicadores de competitividad, productividad, tecnología y valor agregado, así como aspectos sociales, ambientales y seguridad industrial.

2. Objetivos

General

- Contribuir con alternativas de solución coherentes mediante la implementación de tecnologías limpias que incidan en la prevención y mitigación eficaz de los impactos ambientales producidos por las actividades de la pequeña minería aurífera.

Específicos

- Difundir los resultados del proyecto a nivel departamental para orientar la toma de decisiones en sectores específicos que estén relacionados de una u otra manera al tema de la contaminación minera.
- Promover espacios de reflexión en diferentes ámbitos de la sociedad que generen vínculos que deberán expresarse en convenios de compromisos o acuerdos a favor del uso de los resultados de la investigación y promuevan principios de conservación de recursos naturales y desarrollo sostenible entre las actividades mineras auríferas del departamento.

3. Localización

El proyecto tiene como área prioritaria de trabajo la zona que se muestra en el Mapa 1, en la cual se concentran mayormente las actividades de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro.

4. Metodología de la propuesta

Para lograr una mitigación sustancial de la contaminación ambiental, la presente propuesta de intervención pone énfasis en la implementación de medidas apropiadas. En este sentido las actividades técnicas priorizan la amplia difusión y ejecución de los cambios y adecuaciones tecnológicas. De esta manera se presenta en la siguiente ilustración el plan metodológico para la implementación de tecnologías limpias, desde la etapa inicial de la investigación hasta el logro de los objetivos planteados en la presente propuesta.

Flujograma 11
Estrategia de implementación de tecnologías limpias

DIFUSIÓN DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL
Sector Minero
Solicitud
PROYECTO TECNOLOGÍAS LIMPIAS
Otras Instituciones
SITUACIÓN ACTUAL Definición de Impactos
Legislación Ambiental Prioridades del Proyecto Tecnologías Limpias
Definición Intervención
Implementación
Autoimplementación
Financiamiento externo con Asistencia Técnica
Autofinanciamiento con Asistencia Técnica
Asistencia Técnica
PROYECTO CONCLUIDO
RESULTADOS
MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN

Fuente: Elaboración propia.

La primera fase relativa a la ejecución de la investigación comenzó, en nuestro caso, con la socialización del proyecto a través de una serie de charlas, reuniones, publicaciones, videos, etc., donde se realizó la difusión de la problemática ambiental relacionada con la actividad minera de manera general, concluyendo específicamente con los impactos de la actividad minera aurífera. Esta etapa permitió conocer in situ y de primera mano la situación actual de las actividades del sector de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro, sus características, los problemas que

confrontan tanto en el ámbito técnico, ambiental, social e incluso político y sus necesidades y expectativas a partir del estudio. Definidos los impactos ambientales ocasionados, se plantearon una serie de soluciones para evitar, reducir, mitigar y en el mejor de los casos eliminar la contaminación ambiental en base a la implementación de tecnologías limpias.

Tomando en cuenta el conocimiento adquirido en la etapa anteriormente mencionada, se ha evidenciado que los mineros desarrollan su actividad en yacimientos minerales con características geológicas que permiten una explotación generalmente simplificada. Existen muchos yacimientos minerales como los lechos de los ríos, las planicies aluviales y los afloramientos de pequeñas minas subterráneas, así como minas y colas o relaves abandonados por empresas mineras grandes y medianas, que pueden ser explotados tras un simple análisis, con prácticas de minería rudimentarias pero efectivas.

Las técnicas empleadas van desde las más básicas hasta las medianamente sofisticadas. La complejidad y eficiencia de la tecnología tiende a incrementarse con la organización de los mineros, la asistencia técnica, la capacidad financiera, y mayores niveles de formación. Sin embargo, la falta de conciencia ambiental e información sobre métodos disponibles para reducir los impactos, además de la total ausencia de incentivos para promover la adecuación ambiental entre los operadores mineros, evita una tarea inmediata para solucionar los problemas medioambientales a través de la introducción de tecnologías limpias. Analizando las características estudiadas y tomando en cuenta la sostenibilidad del proyecto de implementación de tecnologías limpias, las siguientes medidas no son recomendadas para la solución del problema:

a. Precio subsidiado de compra del equipo de tecnologías limpias.
b. Subsidios operacionales para inversiones ambientales.
c. Materiales de operación gratis o subsidiados.
d. Equipo de seguridad gratis o subsidiado.

Por esto, la propuesta hace énfasis en la *autoimplementación* y *autofinanciamiento*.La parte fundamental del proyecto estaría centrada exclusivamente en el asesoramiento y en la asistencia técnica a cada operación minera hasta lograr una real mitigación de los impactos ambientales y un incremento de la producción vía la implementación de tecnologías limpias.

5. Beneficiarios

Es de suma importancia dirigir el proyecto a grupos meta o beneficiarios claramente definidos. Para el proyecto de implementación de tecnologías limpias en la pequeña minería aurífera se han definido los siguientes grupos:

- Los mineros: beneficiarios directos del proyecto. La ventaja es el contacto directo, sin intermediarios, con este grupo meta. Por otro lado, el trabajo exclusivo con los mineros presenta peligros en cuanto a la sostenibilidad del proyecto una vez finalizado, cuando no se ha creado o fortalecido una estructura que asuma las obligaciones creadas por el proyecto.
- La población afectada por la contaminación minera. Con la implementación de medidas de mitigación a través del uso de las tecnologías limpias, estos grupos se benefician con una mejor calidad de vida por menor contaminación.

Este segundo grupo es muy importante para el proyecto por su poder de realizar un control social contra la contaminación que normalmente es mucho más eficiente que el control legal por parte del gobierno. Además, por la posibilidad de implementar en algunos casos otras medidas ambientales (por ejemplo estanques de sedimentación para lodos sulfurosos antes de los canales de riego).

6. Viabilidad de la propuesta

Las minas pequeñas existentes en el departamento de Oruro muchas veces operan con márgenes de rentabilidad muy reducidos. Por esta razón, y debido a la ausencia de una conciencia ambiental, para los mineros las medidas técnicas que mejorarían la situación

del medio ambiente sólo serán exitosas si coinciden con la idea de una producción incrementada. Se debe realizar dicha fusión entre economía y ecología para asegurar que los mineros apliquen estas medidas. Se puede distinguir una relación directa y otra indirecta entre la economía y la ecología. En el caso de las retortas, por ejemplo, es una relación directa. A través de la tecnología para el reciclaje del mercurio el minero puede ahorrar el costo de comprar nuevo material, un hecho que no sólo tiene ventajas financieras directas, sino que también preserva al medioambiente de mayor contaminación.

Una relación indirecta puede ser alcanzada a través de asesoramiento técnico a las plantas procesadoras y a sus operadores. Con la aplicación del asesoramiento se optimiza la producción de una planta y, como resultado, los mineros también gastan una parte de los ingresos incrementados en medidas para preservar el medio ambiente. Por el otro lado, los mineros también disponen de mayores ingresos gracias al uso de esta tecnología.

Estas opciones son soluciones técnicas o técnico-organizativas que presentan al mismo tiempo resultados positivos a nivel técnico-económico como también una reducción del impacto ambiental. Con ello, ya incluyen incentivos económicos para su aplicación, que al mismo tiempo va unido a innovaciones técnicas. Desde el punto de vista de las políticas ambientales, estas soluciones tienen mucho más valor que los intentos de lograr metas ambientales a través de mecanismos directivos de tipo legal administrativo, por ejemplo, mediante regalías, tributos y sanciones. De las medidas implementadas, resultará también un mejoramiento de los resultados de producción de las operaciones mineras a través de un incremento en la recuperación del oro en un 10 o 20% y una disminución drástica en la contaminación de aguas, suelos y aire.

Las tecnologías limpias han sido diseñadas de tal manera que logren minimizar de forma progresiva los riesgos e impactos ambientales negativos más comunes y significativos del sector de la pequeña minería. Estas exigencias dan prioridad a los retos ambientales para los mineros que pueden ser logrados de forma realista en corto y mediano plazo, teniendo en cuenta los recursos financieros y humanos de éstos. Los requisitos se centran en la

gestión responsable del uso del mercurio y el agua, la restauración ecológica y el mantenimiento de la biodiversidad.

Si bien la eliminación del uso del mercurio en el sector de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro es un objetivo importante, la inmediata y total eliminación no es una condición realista a pesar de los riesgos que conlleva para la salud humana y ambiental. La total eliminación del mercurio es ineficiente desde la perspectiva de la recuperación del mineral, ya que si se incluyera como condición, el 95% de las operaciones mineras quedarían excluidas del proyecto. En lugar de ello se propone un proceso de apoyo a los mineros y organizaciones para minimizar el uso de mercurio mediante la implementación de prácticas responsables y tecnologías limpias que mitiguen el impacto ambiental.

Para hacer posible la implementación exitosa de proyectos ambientales en el sector aurífero, se requieren, en todo caso, enfoques básicos integrados, interdisciplinarios y que abarquen todos los sectores involucrados. Estrategias unidimensionales –por ejemplo aquellas que se limitan a solucionar problemas técnicos–, legal-administrativos o simplemente sociales no podrán generar una minería ambientalmente compatible.

Un enfoque de los trabajos encarados en la primera fase del proyecto fue el de encontrar en cada caso las tecnologías limpias que puedan ser adecuadas, aplicadas y manejadas por los mineros del sector aurífero. Con este propósito se concentró el mayor esfuerzo en revisar las técnicas ya existentes y de evitar hasta donde sea posible la introducción de nuevas tecnologías económicamente inalcanzables y técnicamente no sustentables. Adicionalmente, se cuenta también con información actualizada propia y proveniente de instituciones de investigación nacionales e internacionales en las áreas de minería, medio ambiente, social, económica, jurídico legal, educación ambiental y economía ambiental para dar el sustento adecuado a cualquier tipo de emprendimiento en el área minera.

Argumentos muy apropiados, que vienen al caso para lograr la aplicación de las tecnologías limpias, son las operaciones que quieren mejorar su producción (ingresos) pero que no tienen la capacidad

técnica necesaria. En estos casos, el proyecto tiene la posibilidad de ofrecerles asistencia técnica con la condición de implementar paralelamente medidas ambientales. En muchos casos esta estrategia ha funcionado exitosamente.

Las medidas implementadas tienen que demostrar su factibilidad y ser operadas por los mismos mineros (después del tiempo necesario de ajuste y entrenamiento). En proyectos similares de aplicación de tecnologías limpias, se ha notado una cierta "autodifusión" de medidas exitosas (especialmente cuando su aplicación deviene en ventajas económicas). Muchas veces, se ve la autoimplementación como el éxito más grande del proyecto. Sin embargo, existe también la posibilidad de que el paquete de tecnologías limpias corra el peligro de distorsionarse por la vía de la autodifusión.

Las tecnologías limpias, aparte de su buen potencial de difusión, deben reunir las condiciones presentadas en el cuadro siguiente:

Tabla 7
Criterios para la elección de tecnologías limpias

Factores	Criterios para la selección y evaluación de las tecnologías limpias
Factores sociales y culturales	– Es útil para los mineros. – Es aceptada y aprobada por los mineros. – Tradición en la aplicación de este componente. – Tradición en la utilización del equipo. – Facilita el trabajo. – Posibilidad de visualizar el proceso (visibilidad, control). – Es comprensible (técnica y organizativamente). – Seguridad en el trabajo. – El equipo no debe interferir con costumbres, supersticiones o creencias. – El proceso nuevo no debe requerir cambios organizativos/estructurales sustanciales.
Factores técnico-económicos	– Mayor rendimiento. – Mayor recuperación. – Bajos costos de inversión. – Bajos costos de operación. – Los nuevos equipos deben ser compatibles entre sí y con los equipos existentes. – Las tecnologías limpias deben integrarse fácilmente al proceso actual. – Disponibilidad en el mercado de equipo usado (de segunda mano). – Es posible su producción local. – De fácil manejo y mantenimiento. – Adecuado para las fuentes de energía disponibles. – Larga vida/duración.

Factores ambientales	– Menor impacto ambiental. – Alto grado de seguridad laboral. – En lo posible, integrado al proceso. – El rendimiento ambiental mejorado debe lograrse con poco trabajo y a bajo costo. – La aplicación de la solución debe hacer posible el cumplimiento de la ley ambiental. – La aplicación de la solución debe tener como efecto la legalización de la operación. – Menores costos ambientales posteriores.
Factores relacionados con la estrategia del proyecto	– Es necesario considerar una solución integrada (medio ambiente, producción, etc.). – La solución contribuye y es concordante con la visión de género. – La implementación debe estar acompañada por la capacitación de los beneficiarios. – Debe ser posible realizar rápidamente ensayos/experimentos para tomar decisiones. – Los beneficiarios deben participar en los procesos de elección e implementación. – Las tecnologías deben tener la posibilidad de divulgación en toda la zona del proyecto. – Las tecnologías limpias elegidas deben ser compatibles con las posibilidades de financiamiento.

Fuente: MEDMIN.

El proyecto, desde la primera fase de investigación, puso suma atención en entender la organización de las operaciones y los grupos mineros, así como las relaciones socioeconómicas entre éstos, dueños de minas, equipos o plantas de beneficio, compradores de oro, vendedores de equipo e insumos y aspectos socioculturales (religión, costumbres, supersticiones, etc.). Estos aspectos y condiciones influyen en muchos casos más en la facilidad de difusión de las medidas técnico-ambientales que en sus implicaciones técnicas. Al contrario de los métodos técnicos, los aspectos socioeconómicos y culturales son mucho más difíciles de cambiar.

Los cambios tecnológicos, que para su funcionamiento necesitan cambios organizativos sustanciales (por ejemplo organización del trabajo o de responsabilidades en la mina), son mucho más difíciles de realizar que los cambios tecnológicos que encajan perfectamente en la estructura existente.

7. Aplicabilidad de la propuesta

Experiencias anteriores, en varios trabajos de implementación de tecnologías limpias en otras regiones del país, permiten manifestar que la amalgamación, por su sencillez y versatilidad, seguirá siendo el método preferido y aplicado en la pequeña minería aurífera en un futuro próximo. Por lo tanto, las estrategias principales y básicas que han mostrado su validez en este tipo de proyectos son:

- Si no se puede eliminar totalmente la amalgamación por el momento se tiene que optimizar y restringir a circuitos cerrados.
- Dependiendo del caso, siempre se presentarán posibilidades de evitar la amalgamación utilizando métodos alternativos conocidos o nuevos. Sin embargo, este todavía es el objetivo máximo de un trabajo en este campo (sólo si el cambio tecnológico no lleva a “otros” impactos ambientales). Otro objetivo del proyecto será el de mitigar substancialmente los impactos ambientales, pero en un tiempo próximo.
- Un proyecto que quiere mejorar la grave situación ambiental así como la alarmante situación de la seguridad industrial tiene que actuar de una manera pragmática y rápida.
- No se pueden restringir las medidas técnicas a lo elegante, nuevo e interesante desde un punto de vista tecnológico. Todo lo que funciona es bueno. Pero, si además de funcionar, es simple y barato,mejor.
- La protección del medio ambiente y la protección de la salud de los operadores (seguridad industrial) van juntos. Un minero que no cuida su propia salud no entiende por qué debe cuidar la salud de los demás.

La disminución de los problemas medio ambientales en la pequeña minería se puede lograr únicamente a través de un enfoque integral. Las instituciones estatales pueden concentrarse en sus tareas específicas, o sea, en la elaboración de lineamientos políticos, como también en su correspondiente control y coordinación.

Se pueden aprovechar óptimamente las ventajas específicas de otras ONGs que disponen de una gran sensibilidad para aspectos sociales y culturales y gozan de un mejor acceso a otros grupos meta. Se ha demostrado que desde este enfoque aplicado ya se dieron efectos de sinergia para otros sectores de protección ambiental.

Una base para un impacto sostenible del proyecto de implementación de tecnologías limpias es la fusión de efectos positivos tanto para

la economía como para el medio ambiente. Los requisitos ambientales de las tecnologías limpias han sido diseñados para minimizar de forma progresiva los riesgos e impactos ambientales negativos más comunes y significativos del sector de la pequeña minería. Estos requisitos dan prioridad a los retos ambientales para los mineros que pueden ser logrados de forma realista en el corto o mediano plazo, teniendo en cuenta los recursos financieros y humanos de éstos. Los requisitos se centran en la gestión responsable del uso del mercurio y el agua, la restauración ecológica y el mantenimiento de la biodiversidad.

Las tecnologías limpias contribuyen de manera sustancial a la reducción de la contaminación con mercurio, sin embargo, se requiere una activa participación de los mineros en la optimización de sus procesos y en la reducción de las pérdidas para lograr un desempeño ambiental más responsable. Si es razonablemente (técnicamente) posible la recuperación del oro sin mercurio no debe emplearse la amalgamación. Un ejemplo de ello es el caso del oro libre, con un tamaño de grano adecuado que puede ser recuperado mediante concentración gravimétrica.

Antes de la implementación de las denominadas tecnologías limpias, es necesario que los mineros estén conscientes de la problemática ambiental y que exista un ambiente de confianza entre ellos y el proyecto. Se hace oportuna la elaboración de folletos, afiches, posters y calendarios informativos (apropiadamente redactados, tomando en cuenta la poca costumbre de lectura).

Sin duda, la manera más eficaz de facilitar conocimientos se basa en ejemplos prácticos y tangibles. Sólo así se divulgan las técnicas y procedimientos en el sector de la pequeña minería. Los seminarios, talleres, folletos, videos y libros preparan el camino, despiertan el interés y hacen surgir preguntas; los mineros encuentran luego las respectivas respuestas en la demostración práctica, que siempre es una parte de los seminarios ejecutados, pero que se ve mejor en ejemplos prácticos instalados en las mismas minas. El proyecto será exitoso sólo si ha logrado mitigar sustancialmente los impactos ambientales ocasionados por la pequeña minería aurífera, vía la implementación de tecnologías limpias y difusión masiva de los cambios tecnológicos propuestos.

Parte importante del control de calidad en cualquier actividad son el seguimiento y el monitoreo, que en lo posible reconocerán a tiempo las modificaciones involuntarias en el plan, así como los cambios importantes que se den en las condiciones básicas del proyecto. En el seguimiento se controlarán y se evaluarán periódicamente los datos relevantes referentes a la situación actual del proyecto o a la situación general. Estos datos permiten obtener conclusiones acerca de los cambios o discrepancias que se han dado. Para la evaluación es importante tener conocimiento de los aspectos a examinar y de las dimensiones de los objetivos correspondientes (indicadores). Los logros de la situación actual, detectados en el marco del monitoreo del proyecto (descrito con valores cuantificados), son luego comparados con las metas fijadas.

Aquí se diferencian tres niveles sobre los cuales se lleva a cabo la evaluación:

– *El nivel de eficiencia, en el cual se examina si los recursos financieros, materiales y personales se han aplicado de manera eficiente.*
– *El nivel de efectividad, en el cual se examina si las actividades realizadas han significado un aporte efectivo para el logro de los resultados planificados y si han contribuido al objetivo del proyecto.*
– *El nivel de impacto, en el cual se examina si el proyecto ha sido un aporte significativo en el tema técnico y medioambiental.*

Finalmente, en el control formal del proyecto, se debe cuestionar lo siguiente: ¿qué se ha aprendido en este proyecto? Además aprovechar la oportunidad de descubrir la esencia del trabajo, que como experiencia importante podrá ser aplicada en otros proyectos.

En el curso de la ejecución del proyecto pueden variar prioridades y las condiciones generales, esta dinámica requiere de una adaptación flexible de la estrategia del proyecto a la nueva realidad. Sin embargo, es importante que las adaptaciones solamente se efectúen en los niveles de actividades y de resultados. El objetivo para el cual

se han definido los mencionados niveles debe ser perseguido sin alteraciones.

Para realizar esta adaptación, en la planificación se deberá prever que en el proyecto se tengan regularmente sistemas de monitoreo, evaluaciones internas o externas y talleres de planificación. Por esto, es indispensable ofrecer y garantizar a largo plazo el seguimiento de las medidas implementadas. Esto se puede realizar con el mismo proyecto o con otro si las actividades se traspasan a otra organización.

Se espera que los resultados obtenidos en la ejecución del proyecto contribuyan a una mejor calidad de vida y a un desarrollo sostenible a través de la lucha contra la contaminación ambiental.

8. Sostenibilidad

La propuesta, concebida inicialmente como incentivo para la implementación de tecnologías limpias, se convierte en un sistema complejo de interacciones entre diferentes actores individuales e institucionales. Un pilar de la sostenibilidad de la propuesta es el *autofinanciamiento* de la futura implementación de tecnologías limpias por parte de los beneficiarios, ya que el hecho de invertir en una máquina hace que el mantenimiento por parte del minero sea óptimo. De esta manera se bajan considerablemente los requerimientos económicos del proyecto.

El segundo pilar de la sostenibilidad consiste en *involucrar a instituciones locales en el monitoreo ambiental y, por lo tanto, en la gestión ambiental*, para que en el futuro sean las instituciones locales las que comiencen en forma paulatina a tomar cartas en el asunto ambiental de la región. Para tal efecto se debe considerar a funcionarios de las prefecturas, municipios, autoridades de salud y representantes de la sociedad civil.

El tercer pilar son los mismos *mineros*, a través de todas sus instancias de organización. En la medida en que ellos y la sociedad en general entiendan que lo que se requiere es un cambio de mentalidad, hasta alcanzar una actividad minera que proteja el medio

ambiente y que tenga como efecto multiplicador un mejor nivel de vida para los mineros, sus familias y para las comunidades ligadas a los centros de producción minera, se habrá logrado el resultado esperado.

Es un hecho que la sostenibilidad del proyecto de implementación de medidas técnico-ambientales en el sector de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro estará garantizada, pues se brinda a los mineros una alternativa práctica para una mayor producción de oro, un producto cuyos precios en el mercado internacional van en constante ascenso rompiendo todos los records anteriores. Existe también la posibilidad de venta de un subproducto (las piritas auríferas), que antes no era contemplada; bajan sus costos de operación porque el mercurio se recircula y su consumo se reduce sustancialmente, así como un adecuado manejo de aguas y almacenamiento de colas procedentes de la actividad minera. Por lo tanto, el minero sale beneficiado, porque puede producir más y obtener mejores ingresos económicos, así también el proyecto, porque alcanza su objetivo, y, lo que es más importante, el medio ambiente, porque se contamina menos.

En resumen, este proyecto pretende aportar con un granito de arena para lograr un desarrollo ordenado, técnico, racional, económico, social, legal y ambientalmente sostenible de la pequeña minería aurífera en el departamento de Oruro.

9. Resultados esperados

Para alcanzar el objetivo general de la propuesta de intervención se debe arribar a los siguientes resultados:

- Formulación de alternativas concretas a la problemática de contaminación como efecto de las operaciones mineras auríferas en el departamento de Oruro.
- Contribución a los procesos de desarrollo sostenible en la gestión ambiental minera.
- Tecnología a emplearse.

– Costos totales y rentabilidad económica del proyecto.
– Estrategias de implementación y monitoreo.

Lo anterior implica tanto el desarrollo y experimentación de métodos técnicos, instrumentos, equipos, maquinaria y materiales, como la elaboración y difusión de material de información audiovisual, boletines y la realización de seminarios y talleres.

Bibliografía

Ahlfeld, A.; Schneider, A
1994 Yacimientos Minerales de Bolivia. Boletín especial, La Paz-Bolivia.

Beveridge, M.C.; Starford, E. y Coutts, R.
1985 *Metal concentrations in the commercially exploited fishes of an endorheic saline lake in the tim-silver province of Bolivia.* Aquaculture and fisheries managemente I.

BIOTA
2005 *Bases técnicas para el plan de manejo del sitio Ramsar Lagos Poopó y Uru Uru, Oruro*. Presentado a Proyecto de Conservación de la Biodiversidad del Sistema Titicaca Desaguadero Poopó Salar de Coipasa – Autoridad del Lago Titicaca (TDPS – ALT).

Carrillo, F.
1995-1997 *Diagnóstico técnico cooperativas mineras auríferas sector de Iroco, Oruro*. Potosí: MEDMIN.

Carrillo, F.
2007 Diagnóstico del sector minero cooperativizado departamento de Oruro y Norte de Potosí. APEMIN II.

CORIDUP
2007 *Memoria del Panel de Análisis "Alternativas de Protección y Preservación de la Cuenca del Desaguadero, Uru Uru y Poopó"*. Oruro: Coordinadora de Defensa de la Cuenca del Río Desaguadero, lagos Uru Uru y Poopó.

De Lacerda, L.D. y Salomons, W.
1998 *Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb?* Berlin: Springer-Verlag.

Enríquez, J.C.
2002 *Minería, minerales y desarrollo sustentable en Bolivia*. MMSD.

Evia, J.L. y Molina, R.
1997 *Estudio medio-ambiental de la minería mediana, pequeña y artesanal en Bolivia*.La Paz: Universidad Católica Boliviana.

Hinojoza Daza, J. y Rosales Ramírez, S.
1995 *Análisis del impacto socioeconómico de la contaminación del río de la Ribera- Pilcomayo*. Potosí: MEDMIN.

Hruschka, F.
1995 *Pequeña minería y medio ambiente – costos y beneficios*. Ecuador: Expominería.

Madrid, E.; Guzmán, N.; Mamani, E.; Medrano, D. y Nuñez, R.
2002 *Minería y comunidades campesinas*. La Paz: PIEB.

McMahon, G.; Evia, J.L.; Pasco-Font, A. y Sanchez, J.M.
1999 *An Environmental Study of Artisanal, Small, and Medium Mining in Bolivia, Chile, and Peru*. Washington DC: World Bank Technical.

Möeller S., Hans; Trujillo L., Elvis; Soria P., Nelly; Soria P., Yovana; Choque A., Edgar y Jacinto E., Francisca
2002 *Cooperativas mineras: dinamitas y contaminantes*. Oruro: PIEB.

Prefectura del departamento de Oruro (Dirección departamental de recursos naturales medio ambiente)
2005 *Plan de Acción Ambiental del Departamento de Oruro (PAADO)*. Oruro.

Priester, M.; Hentschel, T. y Benthin, B.
1992 *Pequeña minería técnicas y procesos*. Alemania: GTZ.

Quispe, J.

2003 *Derechos humanos ecológicos. Un medio ambiente saludable como derecho*. Oruro: Latinas Editores.

Taller Nacional del Proyecto CAMINAR

2008 *Estrategias para el desarrollo sostenible de ecosistemas en cuencas áridas y semiáridas*. La Paz: Instituto de Investigaciones Químicas (UMSA).

Van Ryckeghem, M.

1997 *Contaminación minero metalúrgica y salud pública en la cuenca del Poopo.* Oruro: Eco Andino.

Wotruba, Hermann; Hentschel, Thomas; Hruschka, Felix y Priester, Michael

2000 *Manejo ambiental en la pequeña minería* (Edición *on line*). Lima: Gama-COSUDE. http://www.gama-peru.org/libromedmin/index.html.

Autores

Félix J. Carrillo Claros

Ingeniero Metalúrgico titulado en la Facultad Nacional de Ingeniería (FNI). Durante cinco años trabajó como Asistente Técnico en el Programa Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería. Desde el año 2000, hasta la fecha es Coordinador Técnico en MEDMIN. Ha realizado varios trabajos en los ámbitos de diagnóstico, mejoramiento productivo y medio ambiente en el área de la minería informal y pequeña minería en Bolivia, como también en otros países de Latinoamérica y Asia. Autor de numerosos artículos técnicos para ediciones de literatura especializada, manuales de consulta sobre procesamiento de oro, seguridad industrial y tecnologías limpias. Recibió reconocimientos y distinciones a nivel nacional e internacional por sus trabajos de investigación en el área de pequeña minería y medio ambiente.

Ruth Zenteno Pocoata

Licenciada en Biología con una Maestría en Ecología y Conservación (UMSA-La Paz). Autora de artículos y cartillas informativas sobre municipio y medio ambiente. Distinciones a nivel nacional sobre la producción de hortalizas ecológicas. Actualmente es consultora en Biodiversidad y Medio Ambiente en MEDMIN.

Laura Priscila Rubin de Celis C.

Licenciada en Economía (UMSA). Varios trabajos en el área socioeconómica-ambiental para Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA), Planes de Acción Ambiental Municipal (PAAM) para municipios, censos y diagnósticos en el sector de la minería cooperativizada en los departamentos de Oruro, Potosí y otros. Ha participado en programas de capacitación en educación ambiental. Actualmente trabaja como consultora en MEDMIN.